

Direction des renseignements, de l'accès à l'information
et des plaintes sur la qualité des services

Québec, le 31 mai 2019

Objet : Demande d'accès n° 2019-04-052 – Lettre réponse

Monsieur,

La présente fait suite à votre demande d'accès du 24 avril dernier concernant la version préliminaire du guide technique général sur les eaux industrielles, de la Direction des politiques du secteur industriel du Ministère de l'environnement et de la Faune parue en Décembre 1996.

Vous trouverez en pièce jointe le document demandé. Il s'agit de :

1. Guide technique général sur les eaux industrielle, 1996, 427 pages.

Conformément à l'article 51 de la Loi sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels (RLRQ, chapitre A-2.1), vous pouvez demander la révision de cette décision auprès de la Commission d'accès à l'information. Vous trouverez, en pièce jointe, une note explicative concernant l'exercice de ce recours.

Pour obtenir des renseignements supplémentaires, vous pouvez M^{me} Malaïka Jacques-Bérubé, analyste responsable de votre dossier, par courriel à l'adresse malaika.jacques-berube@environnement.gouv.qc.ca, en mentionnant le numéro de votre dossier en objet.

Veillez agréer, Monsieur, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

La directrice,

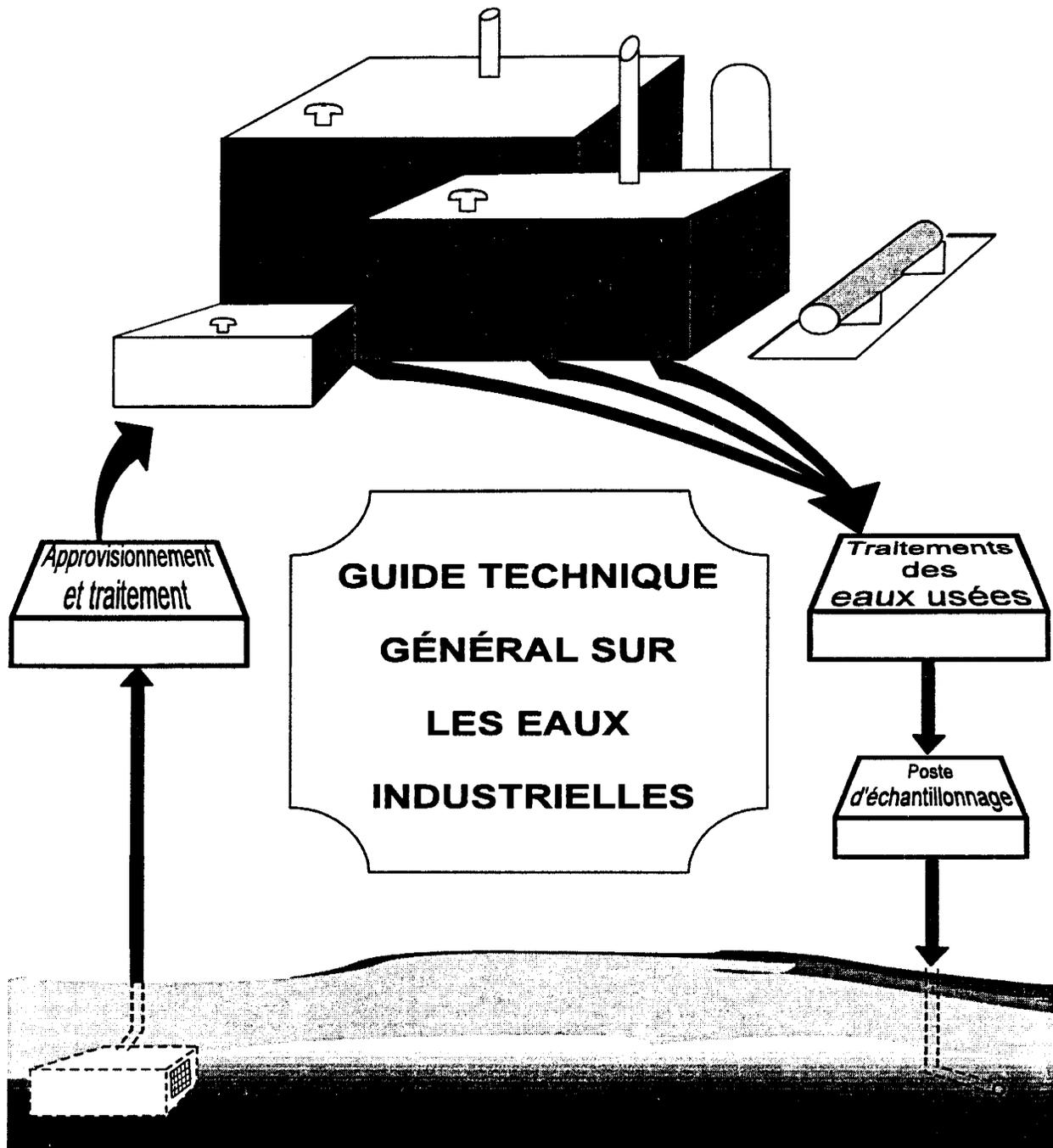
ORIGINAL SIGNÉ PAR

Pascale Porlier

p. j. (2)



Gouvernement du Québec
Ministère de l'Environnement et de la Faune
Direction des politiques du secteur industriel



AVANT-PROPOS

Ce document explique les usages généraux de l'eau d'approvisionnement dans les usines. Les procédés industriels sont normalement décrits dans les guides techniques sectoriels. Ceux qui ont été produits jusqu'à maintenant, sont cités dans la bibliographie du chapitre 2.

En consultant la table des matières, on constate que la majeure partie de ce guide fournit également des informations scientifiques et techniques sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées industrielles, les systèmes de prétraitement et de traitement de ces eaux, en passant par les technologies propres et la réglementation relative aux eaux usées.

Le chapitre 1 présente un résumé des chapitres 2 à 7. Dans l'ensemble, on peut dire qu'on a tenté de couvrir le cheminement possible de l'eau dans la plupart des industries.

Il faut être conscient que ce guide technique général n'a pas la prétention de répondre à toutes les questions que les chargé(e)s de projets peuvent se poser, ni de constituer une bible en matière de conception des systèmes de traitement. Chacun sait que les catégories de prétraitement et de traitement ont fait l'objet d'ouvrages techniques détaillés; on a donc indiqué tout au long des chapitres des références générales ou spécifiques à consulter le cas échéant.



LISTE DES PARTICIPANTS

Bernard Daboval, spécialiste en sciences physiques, Service de l'assainissement des eaux

COLLABORATEURS

Guy Canuel, ingénieur, Service de l'assainissement des eaux

Gaston Francoeur, ingénieur, Service de l'assainissement des eaux

TRAITEMENT DE TEXTE

Anne-Marie Giroux, agente de secrétariat, Service de l'assainissement des eaux



REMERCIEMENTS

Nous remercions toutes les personnes qui ont bien voulu nous faire part de leurs remarques, commentaires et suggestions au fur et à mesure que nous leur soumettions la version préliminaire d'un chapitre ou l'autre. Notre reconnaissance s'adresse également au personnel du Centre de documentation qui a toujours répondu rapidement à nos demandes. Finalement, nous tenons à remercier les personnes qui ont travaillé à la dactylographie, à la mise en page et à la préparation des figures.



COMMENTAIRES

Dans le but d'améliorer la qualité par l'ajout de compléments d'informations et l'exactitude des informations contenues dans ce document technique, nous vous saurions gré d'indiquer les erreurs qu'il pourrait contenir, de nous communiquer des précisions ou de nous faire part de commentaires en perspective de la version finale.

Direction des politiques du secteur industriel
 Service de l'assainissement des eaux
 5199, rue Sherbrooke Est, Bureau 4800
 Montréal (Québec) H1T 3X3

PAGES	ERREURS, PRÉCISIONS, COMMENTAIRES



TABLE DES MATIÈRES

	Page
Avant-propos	i
Liste des participants	ii
Remerciements	iii
Commentaires	iv
Table des matières	v
Liste des figures	xvii
Liste des tableaux	xxii
Liste des abréviations et sigles	xiii
CHAPITRE 1	
INTRODUCTION	1-1
CHAPITRE 2	
LES INDUSTRIES ET L'EAU	2-1
2.1 PROVENANCE, UTILISATION ET ÉVACUATION	2-1
2.1.1 Provenance	2-1
2.1.2 Utilisation	2-3
2.1.3 Évacuation des eaux usées industrielles	2-3
2.2 EAUX DES INSTALLATIONS SANITAIRES	2-5
2.3 EAUX DE CHAUDIÈRES	2-6
2.4 EAUX DE REFROIDISSEMENT	2-11



2.5	EAUX DE PROCÉDÉ	2-19
2.5.1	Secteur agro-alimentaire	2-20
2.5.1.1	Boissons gazeuses	2-20
2.5.1.2	Brasseries	2-22
2.5.1.3	Usines de transformation du lait	2-22
2.5.1.4	Confiseries	2-23
2.5.1.5	Raffineries de sucre	2-23
2.5.1.6	Conserveries	2-23
2.5.1.7	Boulangeries	2-24
2.5.1.8	Distilleries	2-24
2.5.1.9	Usines de transformation des viandes	2-24
2.5.1.10	Raffineries d'huiles comestibles	2-25
2.5.1.11	Production de fécule et de sirop de maïs	2-25
2.5.1.12	Production de glace	2-25
2.5.2	Industries chimiques et industries assimilées	2-26
2.5.3	Industries textiles	2-28
2.5.4	Industries des peaux et du tannage	2-29
2.5.5	Industries pétrolières	2-30
2.5.6	Industries des pâtes et papiers	2-30
2.5.7	Industries du fer et de l'acier	2-33
2.6	CARACTÉRISTIQUES DES EAUX USÉES INDUSTRIELLES	2-34
	BIBLIOGRAPHIE	2-37
	CHAPITRE 3	
	LA RÉDUCTION DES EFFLUENTS LIQUIDES	3-1
3.1	NOTIONS GÉNÉRALES DE TECHNOLOGIES PROPRES	3-2
3.2	LES OPÉRATIONS PRÉLIMINAIRES	3-3

3.3	LES AMÉNAGEMENTS AUX PROCÉDÉS DE PRODUCTION	3-7
3.4	LES PROCÉDÉS PROPRES	3-10
	CONCLUSION	3-12
	BIBLIOGRAPHIE	3-14
 CHAPITRE 4		
	QUANTIFICATION DES CHARGES POLLUANTES	4-1
4.1	DÉBIT DES EFFLUENTS	4-1
4.1.1	Débit instantané	4-1
4.1.2	Mesure de débit en continu	4-3
4.1.2.1	Débit horaire moyen	4-3
4.1.2.2	Débit journalier	4-3
4.2	PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES INDICATEURS DE POLLUTION	4-4
4.2.1	pH	4-4
4.2.2	Demande biochimique en oxygène	4-6
4.2.2.1	Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO ₅) ..	4-9
4.2.2.2	Demande biochimique en oxygène pendant 20 jours	4-10
4.2.2.3	Demande biochimique en oxygène carbonée (DBO _c)	4-11
4.2.2.4	Demande biochimique en oxygène filtrée	4-11
4.2.3	Demande chimique en oxygène	4-11
4.2.4	Matières en suspension	4-12
4.2.4.1	Matières en suspension	4-12
4.2.4.2	Matières volatiles en suspension	4-13
4.2.4.3	Solides totaux	4-13
4.2.4.4	Solides volatils totaux	4-13



4.2.4.5	Impact sur l'environnement	4-15
4.2.5	Composés azotés	4-16
4.2.5.1	Azote total	4-20
4.2.5.2	Mesures de l'azote	4-23
4.2.6	Composés phosphorés	4-24
4.2.7	Huiles et graisses	4-25
4.2.8	Métaux et substances inorganiques toxiques	4-29
4.2.8.1	Aluminium	4-30
4.2.8.2	Antimoine	4-32
4.2.8.3	Argent	4-34
4.2.8.4	Arsenic	4-36
4.2.8.5	Baryum	4-39
4.2.8.6	Béryllium	4-41
4.2.8.7	Cadmium	4-42
4.2.8.8	Chrome	4-45
4.2.8.9	Cobalt	4-48
4.2.8.10	Cuivre	4-50
4.2.8.11	Cyanures	4-55
4.2.8.12	Étain	4-58
4.2.8.13	Fer	4-60
4.2.8.14	Fluorures	4-64
4.2.8.15	Manganèse	4-66
4.2.8.16	Mercure	4-69
4.2.8.17	Molybdène	4-74
4.2.8.18	Nickel	4-77
4.2.8.19	Plomb	4-81
4.2.8.20	Sélénium	4-85
4.2.8.21	Sulfure d'hydrogène	4-89
4.2.8.22	Titane	4-91
4.2.8.23	Vanadium	4-94
4.2.8.24	Zinc	4-96
4.2.8.25	Chlore et chlorures	4-101



4.2.9 Composés organiques	4-106
4.2.9.1 Biphényles polychlorés	4-106
4.2.9.2 Polychlorodibenzofurannes et polychlorodibenzodioxines	4-109
4.2.9.3 Toxicité des PCDF, PCDD et BPC	4-111
4.2.9.4 Composés phénoliques	4-117
4.2.9.5 Identification de composés organiques par les méthodes EPA 624 et EPA 625	4-121
 BIBLIOGRAPHIE	 4-143
 CHAPITRE 5	
EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES ET NORMES DE REJET	5-1
 INTRODUCTION	 5-1
 5.1 EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES GÉNÉRALES	 5-1
 5.2 EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES PARTICULIÈRES	 5-3
5.2.1 Secteur agro-alimentaire	5-3
5.2.2 Secteur du revêtement de surface	5-4
5.2.3 Secteur du textile	5-5
 5.3 RÈGLEMENTS RELATIFS AUX REJETS LIQUIDES	 5-6
5.3.1 Les règlements municipaux	5-7
5.3.2 Le règlement de la Communauté urbaine de Montréal(n°87) ..	5-8
5.3.3 Les règlements de la province de Québec	5-8
 BIBLIOGRAPHIE	 5-10



CHAPITRE 6

TRAITEMENTS CONJOINTS MUNICIPALITÉ-ENTREPRISE 6-1

INTRODUCTION 6-1

6.1 ENTENTE MUNICIPALITÉ-INDUSTRIE 6-2

6.2 PRINCIPAUX TRAITEMENTS MUNICIPAUX 6-3

CONCLUSION 6-4

BIBLIOGRAPHIE 6-5

CHAPITRE 7

TRAITEMENTS EFFECTUÉS PAR LES ENTREPRISES 7-1

7.1 INTRODUCTION 7-1

7.2 CORRECTIFS MINEURS 7-2

7.2.1 L'ajustement du pH 7-3

7.2.1.1 Généralités 7-3

7.2.1.2 Cas possibles 7-4

7.2.2 Régularisation du débit 7-13

7.2.2.1 Généralités 7-13

7.2.2.2 Détermination graphique du volume du bassin d'égalisation 7-14

7.2.2.3 Détermination du volume du bassin d'égalisation par micro-informatique 7-17

7.2.3 Régularisation de la charge organique 7-21

7.2.4 Chambre de prise d'échantillon et de mesure du débit 7-22



7.3	TRAITEMENTS PRÉLIMINAIRES	7-24
7.3.1	Introduction	7-24
7.3.2	Dégrillage	7-25
7.3.3	Dessablage	7-26
7.3.4	Déshuilage et dégraissage	7-27
7.3.4.1	Généralités	7-27
7.3.4.2	Les intercepteurs d'huile	7-29
7.3.4.3	L'intercepteur de graisse	7-32
7.3.5	Tamisage	7-34
7.3.5.1	Généralités	7-34
7.3.5.2	Le microtamis	7-35
7.3.5.3	Le tamis rotatif	7-37
7.3.5.4	Le tamis tangentiel	7-39
7.3.5.5	Le tamis vibrant	7-41
7.3.6	Hydrocyclone	7-41
7.4	TRAITEMENTS CHIMIQUES ET PHYSIQUES	7-43
7.4.1	Introduction	7-43
7.4.2	Conditionnement de certains effluents	7-43
7.4.2.1	Oxydation des cyanures	7-44
7.4.2.2	Oxydation des sulfures (S^{2-} et HS^-)	7-49
7.4.2.3	Réduction du chrome hexavalent	7-52
7.4.3	Traitement physico-chimique	7-54
7.4.3.1	Généralités	7-54
7.4.3.2	Précipitation des métaux toxiques	7-55
7.4.3.3	Réduction de la charge organique	7-59
7.4.3.4	Déphosphatation chimique	7-61
7.4.4	Décantation	7-63
7.4.4.1	Décantation à flux horizontal	7-63
7.4.4.2	Décantation lamellaire	7-68
7.4.5	Flottation	7-70



7.4.6	Filtration sur membrane	7-75
7.4.7	Filtration sur charbon actif	7-81
7.4.8	Résines échangeuses d'ions	7-87
7.4.8.1	Généralités	7-87
7.4.8.2	Les échangeurs cationiques	7-89
7.4.8.3	Les échangeurs anioniques	7-90
7.4.8.4	Traitement des effluents d'une unité de déminéralisation ...	7-90
7.4.8.5	Traitement des effluents de résines spécifiques	7-90
7.5	TRAITEMENTS BIOLOGIQUES	7-91
7.5.1	Généralités	7-91
7.5.2	Principaux procédés aérobies	7-108
7.5.2.1	Irrigation	7-108
7.5.2.2	Boues activées	7-111
7.5.2.3	Lagunes	7-115
7.5.2.4	Réacteur biologique séquentiel (RBS)	7-116
7.5.2.5	Traitements biologiques à cultures fixées	7-120
7.5.3	Traitements biologiques anaérobies	7-124
7.5.3.1	Généralités	7-124
7.5.3.2	Particularités du traitement anaérobie	7-127
7.5.3.3	Avantages et inconvénients des traitements anaérobies ...	7-128
7.5.3.4	Conception des bioréacteurs anaérobies	7-130
7.5.3.5	Types de bioréacteurs anaérobies	7-132
7.5.3.6	Contrôle du pH	7-137
7.6	CONCLUSION	7-139
	BIBLIOGRAPHIE	7-142

Annexe I

Annexe II



LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES

ACA:	Arséniate de cuivre ammoniacal
AOR:	Actual Oxygen Requirement
API:	American Petroleum Institute
AQTE:	Association québécoise des techniques de l'environnement
AR:	Aroclor (marque déposée)
ASCE:	American Society of Civil Engineers
BEST:	Bureau d'étude sur les substances toxiques
BET:	Brunauer-Emmett-Teller
BHC:	Benzene hexachloride (N.B.: Hexachlorocyclohexane en français)
BPC:	Biphényles polychlorés
CAG:	Charbon actif en grains
CAP:	Charbon actif en poudre
CCA:	Acronyme anglais pour Arseniate de cuivre chromaté
CIP:	Cleaning In Place
C,N et P:	Carbone, azote et phosphore
CUM:	Communauté urbaine de Montréal
DBO:	Demande biochimique en oxygène
DBO ₅ :	Demande biochimique en oxygène (5 jours)
DBO ₂₀ :	Demande biochimique en oxygène (20 jours)
DBO _C :	Demande biochimique (carbonée) en oxygène
DCO:	Demande chimique en oxygène
DDE:	Dichlorodiphényléthane
DDT:	Dichlorodiphényltrichloroéthane
DIN:	Institut allemand de normalisation
DPD:	Diéthyl-para-phénylènediamine



DPSI:	Direction des politiques du secteur industriel
EDTA:	Ethylène diamine trétracétate
EPA:	Environmental Protection Agency
FET:	Facteur d'équivalents toxiques
F/M:	Rapport de la quantité de substrat et de la quantité de biomasse présente dans le réacteur
FN:	Format nominal
FTN:	Flavor Treshold Number
H&G:	Huiles et graisses
HPA:	Hydrocarbures polycycliques aromatiques
IARC:	International Agency for Research on Cancer
INRP:	Inventaire national des rejets de polluants
IREQ:	Institut de Recherche en Électricité du Québec
IUPAC:	International Union of Pure and Applied Chemistry
Kps:	Constante du produit de solubilité
LM:	Liqueur mixte
L.R.Q.:	Lois refondues du Québec
MEF:	Ministère de l'Environnement et de la Faune
MENVIQ:	Ministère de l'Environnement du Québec (avant 1995)
MES:	Matières en suspension
MF:	Microfiltration
MLSS:	Matières en suspension dans la liqueur mixte
MVES:	Matières volatiles en suspension
MLVSS:	Matières en suspension volatiles dans la liqueur mixte
NEP:	Nettoyage en place
N-NH ₄ ⁺ :	Azote ammoniacal (exprimé en azote)
N-org:	Azote organique

NPK:	Azote, phosphore, potassium
NTA:	Acide nitrilotriacétique
NtK:	Azote total Kjeldahl
OI:	Osmose inverse
OMS:	Organisation mondiale de la santé
Pa:	Pascal (unité de pression)
PADEM:	Programme d'assainissement des eaux municipales
PAE:	Programme d'assainissement des eaux
PCDD:	Polychlorodibenzodioxines
PCDF:	Polychlorodibenzofurannes
PCN:	Polychloronaphtalènes
PCQ:	Polychloroquaterphényles
PK:	Phosphore, potassium
o-PO₄-P:	Orthophosphates (exprimés en phosphore)
P_t:	Phosphore total
PRRI:	Programme de réduction des rejets industriels
RAS:	Rapport d'absorption du sodium
RBS:	Réacteur biologique séquentiel
R.R.Q.:	Règlements refondus du Québec
S:	Siemens
SAE:	Service de l'assainissement des eaux
SI:	Système international (d'unités)
SOR:	Standard Oxygen Requirement
SQAE:	Société québécoise d'assainissement des eaux
ST:	Solides totaux
SVI:	Sludge Volume Index
SVT:	Solides volatils totaux



TCDD:	Tétrachlorodibenzodioxine
TCDF:	Tétrachlorodibenzofuranne
TMP:	Procédé thermo-mécanique
TON:	Threshold Odor Number
UASB:	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UCV:	Unité de couleur vraie
UF:	Ultrafiltration
U.S.EPA	United States. Environmental Protection Agency
UTN:	Unité de turbidité néphélométrique



LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 2-1: Schéma simplifié du cycle de l'eau dans une chaudière	2-10
Figure 2-2: Schéma simplifié d'un circuit fermé de refroidissement	2-12
Figure 2-3: Schéma simplifié d'un circuit ouvert de refroidissement	2-13
Figure 2-4: Schéma simplifié d'un circuit de refroidissement semi-ouvert simple	2-14
Figure 2-5: Schéma simplifié d'un circuit de refroidissement semi-ouvert .	2-15
Figure 4-1: Demande biochimique en oxygène en fonction du temps	4-7
Figure 4-2: Étapes de traitement pour obtenir les différents paramètres exprimant les matières en suspension et les solides totaux ..	4-14
Figure 4-3: Dimensions de certains constituants organiques dans une eau usée	4-15
Figure 4-4: Cycle simplifié de l'azote	4-16
Figure 4-5: Cycle de l'azote dans un cours d'eau	4-19
Figure 4-6: Formes des sulfures en fonction du pH	4-91
Figure 4-7: Chloration au point critique	4-102



Figure 4-8: Structure chimique des biphényles polychlorés	4-108
Figure 4-9: Structure chimique d'une molécule de polychlorodibenzo- furane	4-110
Figure 4-10: Structure chimique d'une molécule de polychloro- dibenzodioxine	4-110
Figure 7-1: Évolution du dioxyde de carbone en solution aqueuse en fonction du pH	7-9
Figure 7-2: Hydrogramme du débit de l'industrie fictive et volume du bassin de régularisation du débit	7-16
Figure 7-3: Canal Parshall	7-22
Figure 7-4: Canal Palmer-Bowlus	7-23
Figure 7-5: Intercepteur statique de graisses	7-32
Figure 7-6: Tamis rotatif à alimentation extérieure	7-38
Figure 7-7: Tamis rotatif à alimentation intérieure	7-39
Figure 7-8: Tamis tangentiel	7-40
Figure 7-9: Hydrocyclone	7-42
Figure 7-10: Solubilité des hydroxydes métalliques en fonction du pH	7-56
Figure 7-11: Courbes de solubilité des sulfures métalliques	7-57

Figure 7-12: Schéma du prétraitement des eaux de procédé d'une usine de placage	7-59
Figure 7-13: Décantation à flux horizontal	7-65
Figure 7-14: Décanteur circulaire	7-65
Figure 7-15: Décantation freinée	7-67
Figure 7-16: Décanteur à lamelles (écoulement à contre-courant)	7-69
Figure 7-17: Flottateur à l'air dissous (pressurisation partielle de l'effluent recirculé)	7-72
Figure 7-18: Filtration sur membrane	7-76
Figure 7-19: Schémas des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse ...	7-79
Figure 7-20: Évolution d'un filtre au charbon actif en fonction du temps ...	7-83
Figure 7-21: Batterie de filtres au charbon actif	7-86
Figure 7-22: Diffuseurs à grosses bulles	7-105
Figure 7-23: Diffuseur à fines bulles	7-106
Figure 7-24: Système d'aération à jet	7-106
Figure 7-25: Traitement par boues activées	7-112



Figure 7-26: Variations de l'indice de Molhman en fonction du rapport F/M	7-114
Figure 7-27: Étapes du fonctionnement d'un RBS	7-119
Figure 7-28: Schéma du traitement par des biodisques	7-121
Figure 7-29: Schéma du traitement par des lits bactériens	7-122
Figure 7-30: Schéma du traitement par des biofiltres	7-123
Figure 7-31: Phases de la dégradation anaérobie	7-125
Figure 7-32: Diagramme de l'épuration des eaux usées par un traitement anaérobie	7-126
Figure 7-33: Réacteur anaérobie à biomasse en suspension (avec recirculation d'une partie de la biomasse)	7-133
Figure 7-34: Réacteur anaérobie à biomasse fixée	7-134
Figure 7-35: Réacteur anaérobie à boues granulaires et à flux ascendant (type UASB)	7-135
Figure 7-36: Réacteur anaérobie à chicanes	7-136
Figure 7-37: Réacteur anaérobie à lit fluidisé	7-136
Figure 7-38: Réacteur anaérobie à plateaux	7-137

**Figure 7-39: Traitements des eaux usées à l'usine d'Agropur
(Notre-Dame-du-Bon-Conseil) 7-140**

**Figure 7-40: Traitements des eaux usées à l'usine de la
Compagnie Huntsman du Canada 7-141**





LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 2-1: Rôles des produits chimiques pour conditionner l'eau des chaudières	2-8
Tableau 2-2: Limites de contrôle optimal pour les eaux de chaudières utilisant des eaux d'alimentation adoucies (non-déminéralisées)	2-9
Tableau 2-3: Limites de contrôle optimal pour les eaux de chaudières utilisant des eaux d'alimentation de grande pureté (déminéralisées)	2-9
Tableau 2-4: Composition probable des boues d'une chaudière	2-11
Tableau 2-5: Fonctions des composés chimiques employés pour traiter les eaux de refroidissement	2-17
Tableau 2-6: Recommandations pour la qualité de l'eau des systèmes de refroidissement à passage unique et de l'eau d'appoint des systèmes à recirculation	2-18
Tableau 2-7: Recommandations pour la qualité de l'eau dirigée vers les tours de refroidissement	2-18
Tableau 2-8: Approvisionnement en eau des industries manufacturières selon l'utilisation	2-19



Tableau 2-9:	Recommandations relatives à la qualité de l'eau approvisionnement les industries agro-alimentaires	2-21
Tableau 2-10:	Recommandations relatives à la qualité de l'eau approvisionnement les industries chimiques et assimilées	2-27
Tableau 2-11:	Recommandations relatives à la qualité de l'eau approvisionnement l'industrie textile	2-28
Tableau 2-12:	Recommandations relatives à la qualité de l'eau approvisionnement l'industrie des peaux et du tannage	2-29
Tableau 2-13:	Recommandations relatives à la qualité de l'eau approvisionnement l'industrie pétrolière	2-30
Tableau 2-14:	Recommandations relatives à la qualité de l'eau approvisionnement l'industrie des pâtes et papiers	2-31
Tableau 2-15:	Effets des caractéristiques de l'eau approvisionnement l'industrie des pâtes et papiers	2-32
Tableau 2-16:	Recommandations relatives à la qualité de l'eau approvisionnement l'industrie du fer et de l'acier	2-33
Tableau 2-17:	Caractéristiques générales des eaux usées industrielles ..	2-36
Tableau 3-1:	Réduire et concentrer la pollution: Opérations préliminaires et moyens privilégiés	3-5
Tableau 3-2:	Exemples d'aménagements aux procédés de production ...	3-9



Tableau 3-3:	Procédés propres	3-11
Tableau 4-1:	Valeurs de pH dues à certaines activités industrielles	4-6
Tableau 4-2:	Concentrations (en mg/l) de polluants provoquant l'inhibition des procédés biologiques	4-8
Tableau 4-3:	Concentrations en azote ammoniacal dans les effluents pour différentes activités industrielles (effluent final)	4-21
Tableau 4-4:	Concentrations en nitrates-nitrites dans les effluents pour différentes activités industrielles (effluent final)	4-22
Tableau 4-5:	Concentrations en phosphore dans les eaux usées pour différentes activités industrielles	4-25
Tableau 4-6:	Concentrations en huiles et graisses dans les eaux usées pour différentes activités industrielles	4-28
Tableau 4-7:	Liste des métaux et composés inorganiques toxiques	4-30
Tableau 4-8:	Concentrations en aluminium dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-31
Tableau 4-9:	Concentrations en argent dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-35
Tableau 4-10:	Concentrations en arsenic dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-38
Tableau 4-11:	Concentrations en baryum dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-40



Tableau 4-12:	Concentrations en cadmium dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-44
Tableau 4-13:	Concentrations en chrome trivalent dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-46
Tableau 4-14:	Concentrations en chrome hexavalent dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-47
Tableau 4-15:	Concentrations en cuivre dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-52
Tableau 4-16:	Concentrations en cuivre dans les eaux usées des industries de transformation primaire et secondaire (eaux brutes)	4-54
Tableau 4-17:	Concentrations en cyanures dans les eaux usées pour l'industrie du traitement de surface (eaux brutes)	4-57
Tableau 4-18:	Concentrations en cyanures dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-57
Tableau 4-19:	Concentrations en étain dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-59
Tableau 4-20:	Concentrations en fer dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-63
Tableau 4-21:	Concentrations en fluorures dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-65



Tableau 4-22: Concentrations en manganèse dans les eaux usées pour différentes activités industrielles	4-68
Tableau 4-23: Concentrations en mercure dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-71
Tableau 4-24: Concentrations en molybdène dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-76
Tableau 4-25: Compositions typiques d'alliages à base de nickel	4-78
Tableau 4-26: Concentrations en nickel dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-79
Tableau 4-27: Concentrations en plomb dans les eaux de drainage acide de mine	4-83
Tableau 4-28: Concentrations en plomb dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-84
Tableau 4-29: Concentrations en sélénium dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-87
Tableau 4-30: Concentrations en sulfure d'hydrogène dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-90
Tableau 4-31: Concentrations en titane dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-93
Tableau 4-32: Concentrations en vanadium dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-95



Tableau 4-33:	Concentrations en zinc dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-98
Tableau 4-34:	Table d'équivalents toxiques (2,3,7,8-TCDD_{éq}) pour les congénères de PCDD et de PCDF	4-112
Tableau 4-35:	Facteurs d'équivalents toxiques (FET) selon l'OMS (1994) attribués à certains congénères des BPC (relatifs à la 2,3,7,8-TCDD)	4-113
Tableau 4-36:	Liste des composés phénoliques à mesurer selon la méthode de laboratoire MENVIQ.92.01/414-Phé 1.1	4-118
Tableau 4-37:	Concentrations en composés phénoliques dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-119
Tableau 4-38:	Liste des composés organiques volatils mesurés par EPA 624	4-122
Tableau 4-39:	Liste des composés organiques semi-volatils extractibles à pH acide (EPA 625)	4-123
Tableau 4-40:	Liste des composés organiques semi-volatils extractibles à pH base/neutre (EPA 625)	4-124
Tableau 4-41:	Concentrations de certains polluants organiques prioritaires (EPA) pour différentes activités industrielles (eaux brutes)	4-125
Tableau 5-1:	Normes particulières applicables aux industries agro-alimentaires	5-4



Tableau 5-2:	Normes particulières applicables aux industries du revêtement de surface	5-5
Tableau 6-1:	Principaux types de traitement des eaux usées municipales au Québec	6-3
Tableau 7-1:	Relevé des débits horaires et calcul du volume cumulatif ..	7-15
Tableau 7-2:	Détermination du volume du bassin d'égalisation par micro-informatique	7-19
Tableau 7-3:	Formules utilisées pour compléter le tableau 7-2	7-20
Tableau 7-4:	Valeurs de F_t selon le rapport V_o / V_h	7-30
Tableau 7-5:	Superficie et volumes correspondant aux formats nominaux des intercepteurs de graisse	7-34
Tableau 7-6:	Données relatives aux caractéristiques des tamis et à leurs efficacités	7-35
Tableau 7-7:	Quantités de chlore (Cl_2), d'hypochlorite de sodium ($NaOCl$) et d'hypochlorite de calcium ($Ca(OCl)_2$) pour oxyder par- tiellement et totalement 1 gramme de cyanure (CN^-)	7-47
Tableau 7-8:	Produits de solubilité des composés métalliques issus de métaux toxiques	7-58
Tableau 7-9:	Précipitation des phosphates: plages de pH et équations chimiques	7-62
Tableau 7-10:	Rapport A/S selon les schémas d'écoulement	7-75

**Tableau 7-11: Dimensions des particules retenues et gradients de pression
utilisés en filtration sur membrane 7-77**

**Tableau 7-12: Concentrations de différentes substances inhibitrices des
procédés biologiques aérobies 7-94**

**Tableau 7-13: Relation entre les plages de température et l'activité des
groupes de bactéries 7-95**

**Tableau 7-14: Principales caractéristiques des trois catégories de
traitement par boues activées 7-114**



CHAPITRE 1

INTRODUCTION

La mise en oeuvre du programme d'assainissement des eaux (PAE et PADEM) et du programme de réduction des rejets industriels (PRRI) exige de connaître les caractéristiques des eaux usées générées par les procédés industriels.

Il est difficile, pour ne pas dire impossible, de présenter dans un même document toutes les informations relatives à tous les procédés de production, à toutes les catégories d'eaux usées, à toutes les sortes de traitement, à tous les procédés de récupération, à toutes les exigences environnementales, à toutes les normes de rejet, etc.

Il a donc été convenu de préparer un guide technique général sur les eaux industrielles qui sera complété par une série de guides techniques sectoriels dans lesquels les particularités de chacun des secteurs seront décrites.

Le guide technique général sur les eaux industrielles a été conçu en se référant à la façon dont les chargés de projets du ministère de l'Environnement et de la Faune ont dû aborder la plupart des dossiers industriels lors de la réalisation du programme d'assainissement des eaux.

Le chapitre 2 intitulé "les industries et l'eau" présente les provenances et les utilisations de l'eau d'approvisionnement puis les modes d'évacuation des eaux usées. La dernière partie de ce chapitre décrit sommairement les principales sortes d'eaux de procédé générées par l'un ou l'autre des secteurs industriels.



Le chapitre 3 est intitulé "la réduction des effluents industriels" puisqu'avant de songer à les épurer, il est indispensable d'examiner leurs origines et de vérifier s'il est possible de réduire le gaspillage, de recycler certaines eaux, de diminuer la pollution à la source, d'instaurer des technologies propres, etc. Le plan de ce chapitre est identique à celui de la fiche des technologies propres intitulée "l'autre manière d'assainir les eaux usées industrielles". On y expose donc d'une façon plus détaillée "les opérations préliminaires", "les aménagements au procédé", et "les procédés propres"; le tout avec des références susceptibles de fournir des précisions sur les applications qui ont été faites en milieu industriel.

À partir du quatrième chapitre, nous abordons les diverses considérations techniques, réglementaires et environnementales dont on tient compte dans la mise en oeuvre du PADEM et du PRRI. Toutefois, pour l'aspect administratif telles que la présentation des demandes d'autorisation et d'attestation, l'émission des certificats d'autorisation et la délivrance des attestations d'assainissement, les chargés de projets devront se référer à la procédure préconisée par la Direction générale des opérations.

Le quatrième chapitre dont le titre est "quantification des charges polluantes" expose surtout les paramètres physico-chimiques indicateurs de pollution. Quelques informations sont fournies sur les principaux paramètres microbiologiques indicateurs de pollution et le chapitre se termine en résumant les principaux éléments d'un devis de caractérisation. La caractérisation d'un effluent industriel permet non seulement de quantifier ses charges polluantes mais sert aussi à proposer et concevoir les équipements épurateurs à mettre en place. Ces derniers sont décrits dans le chapitre 7.

Avant de présenter les techniques d'épuration des eaux usées industrielles, nous estimons qu'il est indispensable de préciser les normes de rejet qui s'appliquent aux divers effluents liquides ainsi que les exigences environnementales qui sont préconisées dans des cas particuliers. Ceci fait l'objet du chapitre 5.

Le chapitre 6 aborde la question des traitements conjoints municipalité-entreprise(s) et précise les éléments importants que les chargés de projets doivent préparer pour que l'entente entre la municipalité et chaque industrie importante soit élaborée. À titre de renseignement, quelques considérations générales sur les principaux traitements municipaux sont fournies, cependant pour leur conception technique le lecteur devra se référer aux "notes techniques" préparées par le "Service de l'évaluation technique" de la Direction de l'assainissement urbain du ministère des Affaires municipales.

Le chapitre 7 décrit les diverses mesures, les différents équipements ou systèmes de traitement que les entreprises doivent réaliser ou installer pour que leurs effluents soient conformes aux règlements municipaux et/ou aux ententes signées entre les municipalités et les industries. Le tout est présenté comme dans la plupart des livres qui traitent de l'épuration des eaux usées, c'est-à-dire que nous commençons par préciser les exigences particulières avant d'aborder successivement les traitements préliminaires, les traitements physico-chimiques et les traitements biologiques. Dans la mesure du possible les aspects théoriques et pratiques sont exposés.

Deux annexes complètent le guide technique général sur les eaux industrielles. L'annexe I présente les principaux usages et/ou les principales caractéristiques des composés détectés dans les eaux d'approvisionnement ou utilisés pour prétraiter certaines eaux usées.

L'annexe II fournit quelques informations utiles sur les diverses unités utilisées fréquemment par les industriels ou par les concepteurs des systèmes d'épuration et que les professionnels du Ministère sont appelés à manipuler.





CHAPITRE 2

LES INDUSTRIES ET L'EAU

Ce chapitre aborde d'abord les aspects provenance, utilisation et évacuation de l'eau dans les industries. On expose succinctement les différentes sources auxquelles les industries s'approvisionnent. Ensuite on décrit brièvement les différents modes d'évacuation des eaux usées industrielles. Les principales caractéristiques des eaux sanitaires produites sur les lieux de travail sont fournies. On s'attarde un peu plus sur les eaux de chaudières et les eaux de refroidissement. Le chapitre est complété par des informations générales sur l'utilisation de l'eau dans les principaux secteurs industriels et sur les exigences de chacun d'eux à propos de la qualité de l'eau d'approvisionnement dont ils ont besoin. La dernière section énumère les caractéristiques générales des eaux usées selon les principaux types d'activités industrielles.

2.1 PROVENANCE, UTILISATION ET ÉVACUATION

2.1.1 Provenance

Au Québec les industries s'approvisionnent soit:

- au réseau d'aqueduc municipal ou privé;
- aux nappes souterraines;
- aux eaux de surface.



La plupart des industries installées en milieu urbain s'alimentent au réseau de distribution municipal. Celui-ci est généralement constitué d'une usine de traitement de l'eau et d'un système de distribution. De façon générale nous pouvons affirmer que la qualité de l'eau distribuée par les aqueducs municipaux est bonne. Un bilan⁽¹⁾ a été réalisé entre janvier 1987 et septembre 1988: plus de 40 388 analyses de potabilité ont été effectuées durant cette période. Au total, il n'y a eu que 131 dépassements des normes, ce qui représente environ 0,32 % du total. L'origine de la pollution était surtout de nature bactériologique dans plus de 68% des cas.

Dans la province de Québec, plus de 7 800 industries⁽²⁾ s'approvisionnent en eau à un aqueduc municipal ou privé. Notons que ce nombre comprend plusieurs industries qui utilisent aussi d'autres sources d'alimentation en eau pour combler leurs besoins. Celles-ci seraient au nombre de 250. Signalons que toutes ces données excluent les industries sises sur le territoire de la Communauté Urbaine de Montréal (CUM).

La qualité des eaux provenant d'un aqueduc municipal ou privé est régie par le règlement sur l'eau potable (Q-2, r.4.1)

D'autres sources d'alimentation en eau sont utilisées. On dénombre 1900 industries⁽²⁾ qui utilisent des eaux souterraines comme source d'alimentation principale en eau potable et de procédé. Trois cents (300) industries s'approvisionnent aux eaux de surface pour alimenter l'un ou l'autre de leurs procédés, notamment les circuits de refroidissement. Les étangs, les lacs, les rivières ou même le fleuve constituent les principales sources d'eaux de surface. Les industries y ont recours si la quantité et la qualité de l'eau correspondent à leurs besoins.

Pour compléter le portrait, il est nécessaire de mentionner qu'il existe des eaux provenant de précipitation, de ruissellement et d'infiltration⁽³⁾. Ces eaux sont très peu utilisées dans les industries au Québec, parce que la ressource en prove-

nance des réseaux d'aqueduc et des puits est généralement abondante et de bonne qualité.

2.1.2 Utilisation

Lorsqu'on considère l'emploi de l'eau dans une industrie, on trouve quatre grandes catégories d'utilisation:

- les eaux sanitaires;
- les eaux de chaudières;
- les eaux de refroidissement;
- les eaux de procédé.

Dans la quasi-totalité des industries, les deux dernières utilisations sont celles qui consomment le plus d'eau. Les paragraphes 2.3 à 2.6 donnent quelques informations sur chacune de ces catégories.

2.1.3 Évacuation des eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles peuvent être évacuées de deux façons, soit dans un réseau d'égout municipal ou privé, soit directement vers un cours d'eau. Dans le premier cas, on parle généralement d'une industrie en réseau et dans le second, d'une industrie hors-réseau.

Égouts municipaux

Il existe quatre types de réseau d'égout: les égouts sanitaires, les égouts pseudo-séparés, les égouts pluviaux et les égouts unitaires⁽⁴⁾.

Avant 1965, les réseaux d'égouts municipaux étaient de type unitaire. Ils recevaient les eaux usées et les eaux pluviales. Entre les années 1965 et 1980, il y a eu l'apparition de réseaux d'égouts pseudo-séparatifs. Le concept de ce type



de réseau était la séparation des eaux usées et des eaux pluviales, cependant les eaux provenant des toits et des drains de fondation pouvaient être évacuées par le réseau sanitaire.

Depuis 1980, les eaux usées contaminées empruntent le réseau sanitaire et les eaux pluviales ou non-contaminées sont évacuées par le réseau pluvial.

Un réseau pluvial peut être constitué de conduites souterraines, de canalisations en surface ou de fossés.

En général, les eaux provenant de procédés industriels sont évacuées par le réseau sanitaire municipal, lorsqu'un tel réseau existe. Ces eaux doivent toutefois respecter les normes municipales relatives aux rejets dans les égouts et édictées par les règlements municipaux (voir le paragraphe 5.3.1 du chapitre 5 intitulé "Exigences environnementales et normes de rejet"). Leurs caractéristiques peuvent aussi faire l'objet d'ententes entre la municipalité et les industries tel qu'on l'explique dans le chapitre 6 intitulé "Traitements conjoints municipalité-industries".

Les eaux non-contaminées telles que les eaux de refroidissement indirect peuvent être évacuées par le réseau d'égout pluvial. Elles doivent, bien entendu, être conformes aux normes relatives aux effluents rejetés dans les réseaux d'égouts pluviaux et édictées par la municipalité.

Égouts privés

Certaines industries utilisent un réseau d'égout privé dont elles sont généralement propriétaires. Comme dans le cas des égouts municipaux, les eaux sanitaires, les eaux de procédé, les eaux de refroidissement et les eaux pluviales peuvent être mélangées.

Toutefois, la logique veut que les eaux sanitaires et les eaux de procédé soient déversées dans un système de traitement autonome ou dans un réseau municipal;

le réseau pluvial devant servir à évacuer les eaux provenant des précipitations et les eaux non-contaminées.

Au Québec, plus de 6700 industries⁽²⁾ rejettent leurs eaux usées dans un réseau d'égout municipal et plus de 1700 industries⁽²⁾ sont hors-réseau. Ces données excluent les industries sises sur le territoire de la CUM.

2.2 EAUX DES INSTALLATIONS SANITAIRES

La composition des eaux des installations sanitaires peut varier en fonction de l'activité industrielle et l'organisation sociale de l'entreprise. Ainsi, certaines industries rejettent strictement des matières excrémentielles (urine, fèces) et certaines autres ont en plus des eaux usées provenant des activités d'un système de restauration et de l'hygiène corporelle. Les différentes valeurs colligées dans la littérature indiquent une fourchette de débits variant entre 30 et 120 l/jour/personne^(5,6,7,8). L'écart important provient de l'utilisation de douche par les employés et la présence ou non d'une cafétéria sur le site de l'industrie. La charge polluante (DBO₅) varie entre 20 et 50 g/d/personne^(5,6,7,8).

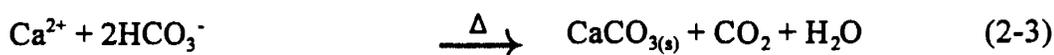
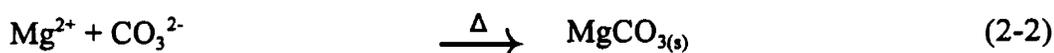
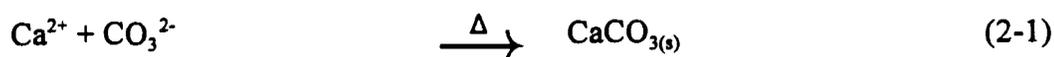
Les industries qui ont l'obligation de prétraiter leurs eaux de procédé doivent écarter les eaux des installations sanitaires du système de prétraitement. Celles qui doivent effectuer l'épuration complète de leurs eaux usées peuvent les mélanger avec les eaux de procédé à l'entrée du traitement biologique. Elles peuvent également les traiter en construisant une installation septique lorsqu'elles sont hors-réseau.



2.3 EAUX DE CHAUDIÈRES

La composition des eaux d'approvisionnement utilisées pour alimenter les chaudières ne doit pas favoriser le dépôt de précipités sur les surfaces métalliques ni leur corrosion⁽⁹⁾.

Les eaux dures lorsqu'elles sont chauffées produisent des carbonates insolubles puisqu'elles contiennent des carbonates de calcium et de magnésium dissous ou des hydrogencarbonates (HCO_3^-) solubles de ces mêmes ions métalliques:



Signalons que d'autres sels comme les hydrogencarbonates peuvent contribuer à la formation de solides pendant le chauffage de l'eau:



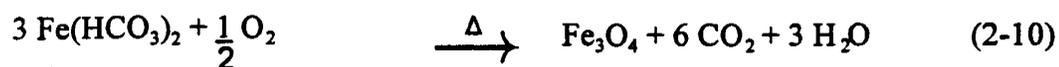
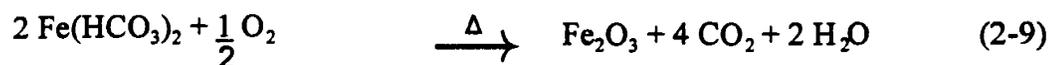
Il est donc fréquent de recourir à un prétraitement soit l'adoucissement ou la déminéralisation pour éliminer les ions nuisibles aux chaudières et ainsi limiter la formation de précipités qui doivent être éliminés par des purges. Les eaux d'alimentation naturellement douces sont traitées par l'ajout de produits déclenchant la formation de précipités ou formant un film protecteur^(9,10).

La situation se complique lorsque le dioxyde de carbone est présent dans l'eau:



Les ions H^+ favorisent la corrosion de l'acier et les réactions (2-5) et (2-6) ci-dessus sont ensuite favorisées.

Par ailleurs, en présence d'oxygène dissous les réactions suivantes peuvent se produire:



D'autres réactions sont susceptibles de survenir à haute température:



Pour éliminer l'oxygène et/ou le dioxyde de carbone on procède à une désactivation chimique ou à une désaération aussi appelée dégazage thermique.

Dans le tableau 2-1 on indique le rôle des principaux produits employés pour conditionner l'eau des chaudières et on précise leurs limites le cas échéant.



Tableau 2-1: Rôles des produits chimiques pour conditionner l'eau des chaudières ⁽¹⁰⁾

PRODUITS CHIMIQUES	RÔLES	COMMENTAIRES
Hydroxyde de sodium (NaOH)	Augmente l'alcalinité Élève le pH Précipite le calcium, le magnésium, etc. Neutralise le dioxyde de carbone (acide carbonique)	Utilisé pour des chaudières hautes pressions Nécessité d'ajouter des ions tamponnants (PO_4^{3-}) Ne génère pas de CO_2 dans la vapeur
Carbonate de sodium (Na_2CO_3)	Augmente l'alcalinité Élève le pH Précipite le calcium sous la forme de $CaCO_3$	Risque de former du CO_2 Produit peu coûteux
Phosphate de sodium (Na_3PO_4)	Précipite le calcium sous la forme d'hydroxyapatite (voir chapitre 7)	L'alcalinité et le pH doivent être suffisamment élevés (donc ajout de NaOH) Nécessité d'oxygène dissous pour avoir une action efficace
Polyphosphate de sodium + dispersant organique	A une action complexante	Risque d'apparition de phosphates insolubles à cause de la température élevée
Aluminate de sodium	Précipite le calcium et le magnésium	Nécessité d'une alcalinité et d'un pH suffisamment élevés
Chélatants (sels de l'éthylène diamine tétracétique (EDTA), acide nitriloacétique (NTA))	Empêchent la formation de dépôts, les produits indésirables forment des complexes solubles stables aux températures élevées	Nécessité d'utiliser une eau sans oxygène dissous
Produits organiques naturels (Tanins, amidons, carboxyméthyle cellulose, etc)	Préviennent les dépôts dans les conduits d'alimentation, Forment une couche non adhérente ayant l'aspect d'une boue	Doivent être employés avec des phosphates ou des carbonates Leur utilisation est de moins en moins fréquente, ils sont remplacés par des produits organiques synthétiques (polymères et copolymères)
Polymères et copolymères (acides polyacryliques, polymétacrylates, acides polyamiques, polyacrylamides, etc)	Dispersent les boues, Déforment les cristaux des précipités du calcium, Empêchent la contamination par les produits de corrosion	Utilisés avec les phosphates et les carbonates de sodium Nécessité d'avoir une dureté très faible (<2 mg/l)
Sulfite de sodium (Na_2SO_3)	Capte l'oxygène dissous $SO_3^{2-} + \frac{1}{2} O_2 - SO_4^{2-}$	Peut se décomposer à des températures et pressions élevées (- SO_2 & H_2S) Action plus efficace lorsque la réaction est catalysée (Cu^{2+} ou Co^{2+})
Hydrazine (N_2H_4)	Réagit avec l'oxygène dissous $N_2H_4 + O_2 - N_2 + 2H_2O$	Action plus rapide lorsqu'on emploie un catalyseur (charbon activé) Peut former du NH_3 aux températures élevées
Amines filmantes (hexadécylamine, octadécylamine, dioctadécylamine)	Forment un film d'une excellente résistance et protègent les surfaces métalliques Protègent de l'action corrosive de l'oxygène et du dioxyde de carbone	Une injection continue en faible concentration assure la persistance du film protecteur
Amines neutralisantes (cyclohexylamine, benzylamine, morpholine, etc)	Empêchent la corrosion des canalisations de recirculation par l'ajustement du pH du condensat en neutralisant l'acide carbonique	N'ont pas d'effet sur l'oxygène dissous
Produits antimousses (polyamides, polyglycols, silicones)	Réduisent la formation de mousses dues à la concentration élevée des solides	Utilisés habituellement en même temps que les produits pour empêcher les dépôts et favorisant la dispersion des boues

À titre d'information, on reproduit les tableaux 2-2 et 2-3 élaborés par NALCO, une compagnie spécialisée dans le domaine des eaux de chaudières. Dans ces tableaux, les intervalles des concentrations recommandées, relatifs aux paramètres physico-chimiques usuels, figurent selon les différents types de chaudières.

Tableau 2-2: Limites de contrôle optimal pour les eaux de chaudières utilisant des eaux d'alimentation adoucies (non déminéralisées)⁽¹⁰⁾

Paramètres (mg/l)	Pressions en kPa					
	1000	2000	4000	6000	8000	10 000
Alcalinité (max.)	4000	3500	3000	2000	500	300
Phosphate (en PO ₄) ^a	30-60	30-60	20-40	15-20	10-15	5-10
Hydroxyde (en CaCO ₃)	300-400	250-300	150-200	120-150	100-120	80-100
Sulfite	30-60	30-40	20-30	15-20	10-15	5-10
Silice (en SiO ₂) max.	100	50	30	10	5	3
Fer total (en Fe) max.	10	5	3	2	2	1
Matières organiques	70-100	70-100	70-100	50-70	50-70	50-70

a: Si les conditions le justifient, des chélatants (EDTA ou NTA) peuvent être utilisés au lieu des phosphates pour obtenir une solubilisation de la dureté plutôt qu'une précipitation. Quelquefois, agents de chélation et phosphates sont utilisés simultanément. Lorsque l'on doit maintenir un résiduel de chélatants, les limites de contrôle recommandées sont :

- | | | |
|-----------------------------------|----------|---|
| - pression inférieure à 3000 kPa: | 4-8 mg/l | } résiduel exprimé en CaCO ₃ |
| - pression de 3000 à 4000 kPa: | 3-6 mg/l | |
| - pression de de 4000 à 7000 kPa: | 3-5 mg/l | |

Tableau 2-3: Limites de contrôle optimal pour les eaux de chaudières utilisant des eaux d'alimentation de grande pureté (déméralisées)⁽¹⁰⁾

Paramètres (mg/l)	Pressions en kPa					
	Jusqu'à 4000	6000	8000	10 000	12500	16 500
Salinité (max.)	Utiliser les mêmes limites que pour les eaux d'alimentation adoucies (non déminéralisées)	500	300	200	100	50
Phosphate (en PO ₄)		15-25	15-25	5-10	5-10	5-10
pH ^b		9,8-10,2	9,8-10,2	9,4-9,7	9,4-9,7	9,4-9,7
Silice (en SiO ₂) max.		10	5	2	1	0,25
Fer total (en Fe)		2	2	1	0,5	0,2
Hydrazine (en N ₂ H ₄) ^b		0,04-0,06	0,04-0,06	0,04-0,06	0,04-0,06	0,04-0,06

a: Unité de pH

b: Résiduel d'hydrazine dans l'eau d'alimentation juste avant la chaudière, par exemple à l'entrée de l'économiseur.



À la lumière des informations fournies dans les pages précédentes, on voit que la production de vapeur entraîne des frais et que par conséquent il est généralement avantageux de recirculer et de réutiliser les eaux de chaudières.

La figure 2-1 montre le cycle général de l'eau des chaudières dans une usine.

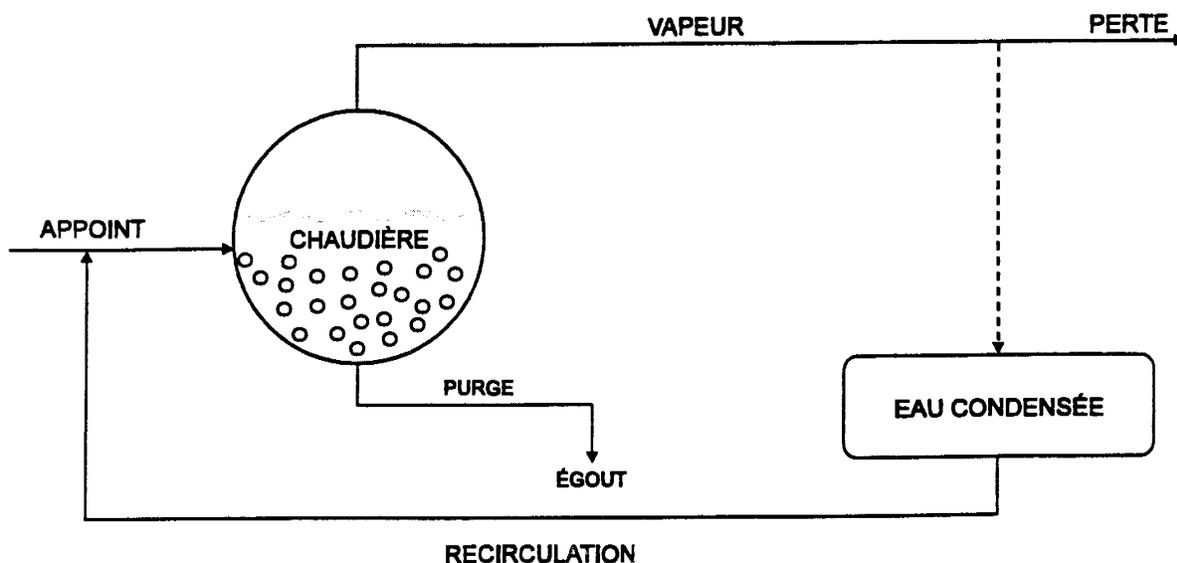


Figure 2-1: Schéma simplifié du cycle de l'eau dans une chaudière

Nous avons indiqué dans les pages précédentes qu'on ajoute des produits à l'eau pour éliminer certaines impuretés. Il est donc nécessaire d'effectuer des purges afin d'éliminer les boues qui se forment et se concentrent dans le circuit. Le nombre de purges est fonction de la puissance de la chaudière, des différents produits de conditionnement utilisés pour le traitement des eaux et de la qualité de l'eau que l'on veut maintenir dans le circuit⁽⁹⁾. Les purges évacuent des boues qui résultent de l'action de ces produits et ces résidus doivent être rejetés dans l'égout domestique ou dans le système de traitement. Dans cet effluent alcalin, on peut trouver aussi sous forme ionique du fer, du cuivre, du nickel et de la silice; ces ions résultent de la corrosion qui se produit dans le circuit de vapeur-condensat. Ces purges peuvent également contenir des minéraux provenant de l'eau brute préchauffée à l'entrée (fuites au niveau des condenseurs). Enfin, à

cause de certaines activités industrielles, une contamination organique provenant de fuites du circuit de vapeur peut se produire.

Le tableau 2-4 montre la composition probable des boues d'une chaudière. Bien sûr, elle est influencée par la nature des produits utilisés pour conditionner l'eau des chaudières.

Tableau 2-4: Composition probable des boues d'une chaudière⁽¹⁰⁾

CONSTITUANTS	TRAITEMENT DE COAGULATION	TRAITEMENT PAR PO, RÉSIDUEL
Carbonate de calcium	Élevé	Généralement moins de 5%
Phosphate de calcium	Généralement moins de 15%	Élevé
Silicate de calcium	Généralement moins de 3%	Traces
Sulfate de calcium	0	0
Hydroxyde de calcium	0	0
Pertes au feu	Généralement moins de 5%	8-12% sauf si eau d'alimentation très pure
Phosphate de magnésium	0	Généralement moins de 5% sauf chaudières à haute pression
Hydroxyde de magnésium	Modéré	Modéré
Silicate de magnésium	Modéré	Modéré
Silice	Généralement moins de 10%	Généralement moins de 10%
Alumine	Généralement moins de 10%	Généralement moins de 10%
Hydrocarbures	0	0
Oxyde de fer	Généralement moins de 5%	Généralement moins de 5% sauf si eau d'alimentation très pure
Sels de sodium	Généralement moins de 1,5%	Généralement moins 1,5%
Cuivre	Traces	Peu élevé
Autres métaux	Traces	Peu élevé

2.4 EAUX DE REFROIDISSEMENT

De nombreuses activités industrielles nécessitent l'utilisation d'eaux de refroidissement^(3,9,11). Celles-ci sont indispensables au bon fonctionnement des:

- condenseurs et échangeurs thermiques;
- réfrigérants d'huile, d'air, de gaz, de liquides;
- moteurs, compresseurs;
- hauts-fourneaux, fours, laminoirs, coulées continues, convertisseurs, réacteurs chimiques, etc.



Dans le cadre des activités industrielles, deux types de refroidissement sont employés: le refroidissement indirect, l'eau n'étant jamais en contact avec le fluide à refroidir et le refroidissement direct, l'eau vient alors en contact avec la matière à refroidir. Le choix du mode de refroidissement dépend du procédé de fabrication.

Trois grands systèmes de circuit de refroidissement sont utilisés; ils sont dits fermés, ouverts et semi-ouverts⁽³⁾.

Dans le circuit fermé, l'eau parcourt une boucle et elle est utilisée comme fluide caloporteur. Elle est donc continuellement recirculée. La figure suivante illustre le processus.

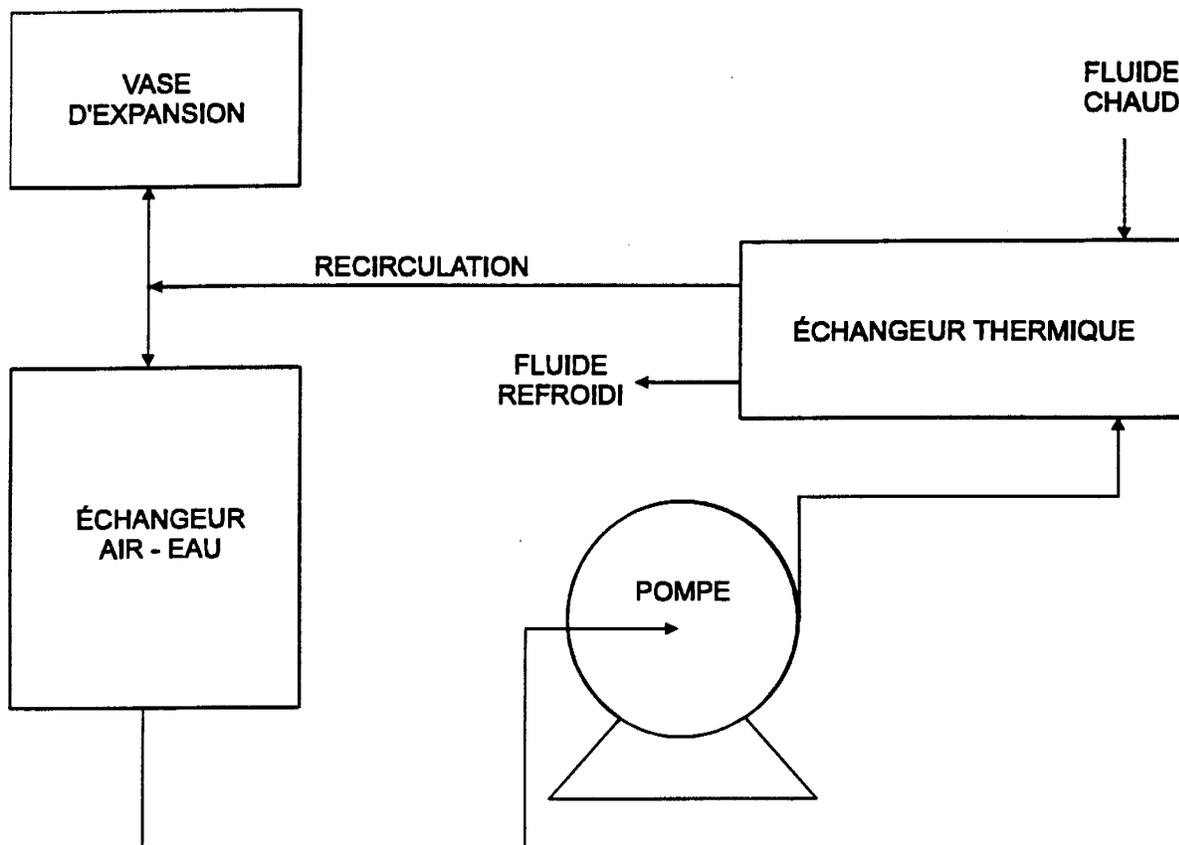


Figure 2-2: Schéma simplifié d'un circuit fermé de refroidissement

La quantité d'eau d'appoint est très faible. La qualité de l'eau pour ce type de circuit de refroidissement doit être excellente. Les quantités de minéraux et de bactéries doivent être minimales compte tenu des risques d'entartrage et de prolifération bactérienne. On trouve généralement ce mode de refroidissement dans certaines industries où le contrôle de la température du procédé de fabrication est critique telles que les industries de production et de transformation de l'acier, les usines de production de bardeaux d'asphalte, de polystyrène, de produits adhésifs, de fils en polyester, les industries pétrolières, etc.

Un circuit ouvert, comme son nom l'indique est le procédé de refroidissement le plus simple de conception. Il s'agit de pomper à même une source d'alimentation (surtout des eaux de surface) l'eau nécessaire au refroidissement et la rejeter directement au cours d'eau ou à l'égout, après un seul passage. Un tel circuit est schématisé à la figure 2.3. Ce type de refroidissement est surtout installé dans les industries ayant des besoins en refroidissement énormes (centrales thermiques, nucléaires, cogénération, etc).

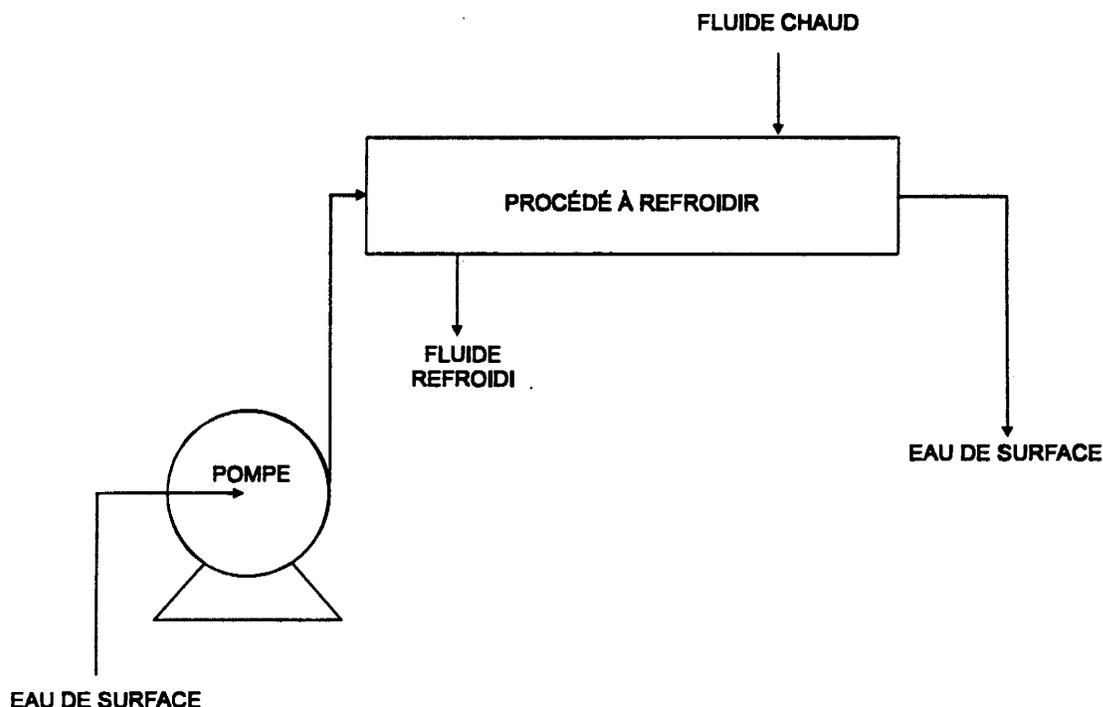


Figure 2-3: Schéma simplifié d'un circuit ouvert de refroidissement

Lorsque l'industrie est raccordée au réseau d'égout sanitaire de la municipalité, il est fortement recommandé d'effectuer la ségrégation de ces eaux, sinon de songer à un autre type de circuit de refroidissement (fermé, semi-ouvert), de façon à diminuer la charge hydraulique à l'usine d'épuration.

Du point de vue environnemental, il est important de tenir compte des effets potentiels de la pollution thermique engendrée par cette eau réchauffée. Des inhibiteurs de corrosion peuvent aussi être utilisés de même que des algicides pour contrôler la corrosion par les microorganismes et l'encrassement causé par les développements biologiques à l'intérieur de ces circuits de refroidissement.

Le circuit de refroidissement semi-ouvert est sans conteste le type de système le plus utilisé. Les eaux réchauffées sortant des équipements d'échange thermique sont dirigées vers une tour de refroidissement où un processus d'évaporation partielle avec de l'air abaisse leur température suffisamment pour qu'elles puissent être réutilisées. Les figures 2-4 et 2-5 montrent deux types de circuits de refroidissement semi-ouverts.

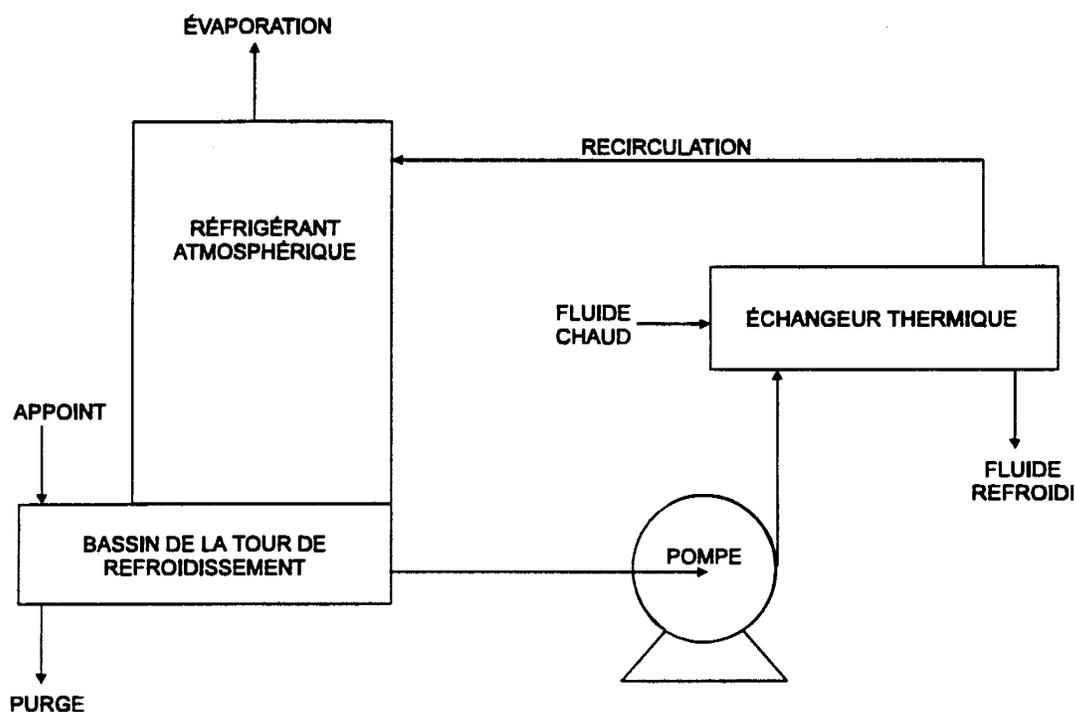


Figure 2-4: Schéma simplifié d'un circuit de refroidissement semi-ouvert simple

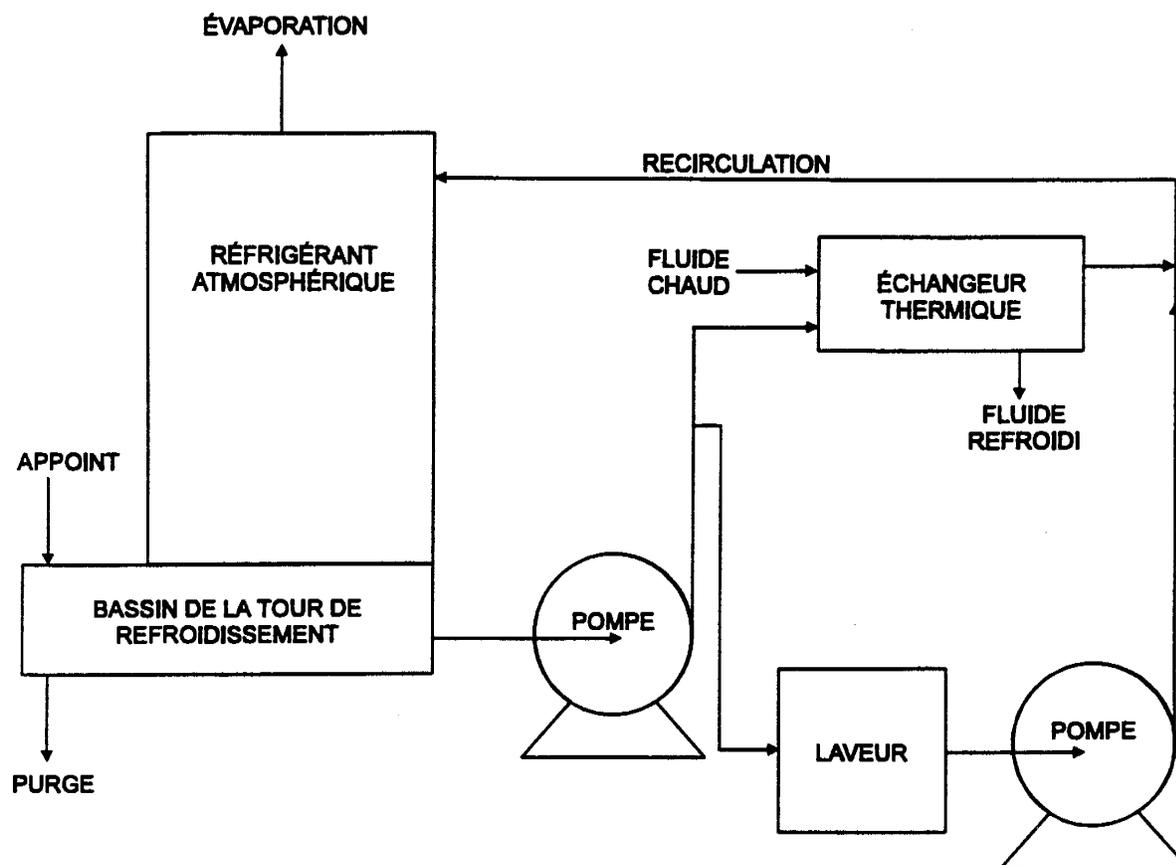


Figure 2-5: Schéma simplifié d'un circuit de refroidissement semi-ouvert

La perte d'eau due à l'évaporation doit être compensée par un apport en eau d'appoint. De plus, il est nécessaire de prévoir, pour ce type de système, différentes méthodes de protection du système de refroidissement. Pour les applications critiques nécessitant un refroidissement efficace et constant, l'ajout de laveurs est indiqué. Les problèmes qui^(10,11) peuvent survenir lors de l'opération de ce type de système sont :

- l'encrassement;
- l'entartrage;
- la corrosion;
- les développements biologiques.

L'encrassement est constitué par toutes les matières susceptibles de se déposer ou de se former dans un circuit, à l'exclusion des tartres. Les sources de cet encrassement sont multiples, elles peuvent provenir de l'eau d'appoint, de l'air atmosphérique et du procédé de fabrication proprement dit.

L'entartrage est causé par la précipitation sur les surfaces métalliques de sels peu solubles de calcium et de silice. Les différents sels de calcium sont des carbonates, des sulfates et des orthophosphates. La silice peut s'y trouver sous la forme SiO_2 ionisée ou colloïdale, de silico-aluminates de calcium ou de magnésium.

La corrosion observée dans les systèmes de refroidissement est causée surtout par la formation de dépôts créant un potentiel électrochimique ou par aération différentielle.

Les développements biologiques sont fortement favorisés à l'intérieur des circuits de refroidissement puisque les conditions de chaleur, d'aération, de lumière et parfois de nutriments qui y prévalent sont idéales pour les développements biologiques. Les problèmes qui peuvent être rencontrés sont de divers ordres, d'une part, il y a risque d'encrassement et d'autre part, des problèmes de corrosion peuvent être provoqués par l'activité biologique.

Au point de vue des rejets liquides, il est important de vérifier quels sont les différents produits de conditionnement utilisés pour contrôler l'encrassement, l'entartrage, la corrosion et les développements biologiques.

Le tableau 2-5 résume les divers problèmes que différents composés chimiques utilisés pour traiter les eaux de refroidissement peuvent régler. Selon la particularité de la situation, d'autres produits sont utilisés: des acides minéraux, des sels acides, des produits organiques polymérisés au poids moléculaire faible, des sels d'ammonium quaternaires, des sels de cuivre, des amines, des composés organo-soufrés, etc⁽⁴⁾.

La toxicité résiduelle des différents produits, celle des inhibiteurs de corrosion, des inhibiteurs d'entartrage et des algicides doivent satisfaire les critères de rejets du cours d'eau récepteur. Certains algicides, comme le *n* tributylstannane, sont à proscrire compte tenu de leur toxicité et de leur persistance dans l'environnement.

Tableau 2-5: Fonctions des composés chimiques employés pour traiter les eaux de refroidissement⁽¹⁰⁾

Traitements chimiques à base de	Prévention contre			
	Corrosion	Entartrage	Encrassement	Microorganismes
Chromates	X			
Zinc	X			
Molybdates	X			
Silicates	X			
Polyphosphates	X	X		
Polyol esters		X	X	
Phosponates		X	X	
Produits organiques naturels		X	X	
Polyacrylates		X	X	
Biocides non oxydants				X
Chlore				X
Ozone				X

Les tableaux 2-6 et 2-7 exposent les recommandations généralement admises pour la qualité des eaux alimentant les différents types de circuits de refroidissement.

Tableau 2-6: Recommandations pour la qualité de l'eau des systèmes de refroidissement à passage unique et de l'eau d'appoint des systèmes à recirculation ⁽¹¹⁾

Paramètres ¹	Passage unique		Recirculation	
	Eau Douce	Eau Saumâtre ²	Eau Douce	Eau Saumâtre ²
Silice	<50	<25	<50	<25
Aluminium	NS ³	NS	<0,1	<0,1
Fer	NS	NS	<0,5	<0,5
Manganèse	NS	NS	<0,5	<0,02
Calcium	<200	<420	<50	<420
Hydrogénocarbonates	<600	<140	<24	<140
Sulfates	<680	<2700	<200	<2700
Chlorures	<600	<19 000	<500	<19 000
Matières solides dissoutes	<1000	<35 000	<500	<35 000
Dureté	<850	<6250	<130	<6250
Alcalinité	500	<115	<20	<115
pH (unité de pH)	5,0-8,3	6,0-8,3	NS	NS
Matières organiques:				
- substances actives au bleu de méthylène	NS	NS	<1	<1
- extrait au tétrachlorure de carbone	NS ⁴	NS ⁴	<1	<2
Demande chimique en oxygène	<75	<75	<75	<75
Matières en suspension	<5000	<2500	<100	<100

1 Sauf indication contraire, les concentrations des paramètres sont en mg/l

2 eau saumâtre: concentration des matières solides dissoutes > 1000 mg/l

3 NS = non spécifié.

4 Pas d'huile à la surface

Tableau 2-7: Recommandations pour la qualité de l'eau dirigée vers les tours de refroidissement ⁽¹¹⁾

Paramètres	Limite (mg/l)		Remarques
	Minimale	Maximale	
Indice de saturation de Langelier ¹	+ 0,5	+ 1,5	sans chromates
Indice de stabilité de Ryzner	+ 6,5	+ 7,5	sans chromates
pH (unité de pH)	≥ 6,0	≤ 8,0	
Calcium (en CaCO ₃)	> 30	< 300	sans chromates
		< 400	avec chromates
Fer total	-	< 0,5	
Manganèse	-	< 0,5	
Cuivre	-	< 0,08	
aluminium	-	< 1	
sulfures	-	< 5	
Silice	-	< 150	si le pH <7,5
	-	< 200	si le pH >7,5
[Ca]x[S0 ₄]	-	<500 000	
Matières solides dissoutes totales	-	< 2500	
Conductivité (µS m ⁻¹)	-	< 4000	
Matières en suspension	-	< 150	

1 Les limites de l'indice de saturation de Langelier (qui indique la saturation en CaCO₃) supposent l'existence d'inhibiteurs de précipitation en l'absence de traitement aux chromates. En l'absence de ces additifs, les limites seraient réduites à 0 et 0,5.

2.5 EAUX DE PROCÉDÉ

On classifie comme eaux de procédé, celles qui sont utilisées pour le lavage, le rinçage, le nettoyage, la désinfection, la fabrication et pour d'autres usages généraux.

Les besoins en eaux sont spécifiques à chacune des activités industrielles. Par conséquent, on aborde ces besoins en fonction des activités industrielles et on tente de fournir une appréciation qualitative et quantitative de ces eaux de procédé.

Le tableau 2-8 montre pour différents groupes d'activités industrielles la consommation d'eau en 1981. Les chiffres comprennent l'eau utilisée pour la fabrication, le refroidissement, la condensation et la production de vapeur, les utilisations sanitaires et autres usages. La dernière colonne indique le volume total pour l'année 1986. Ces données constituent un ordre de grandeur pour l'ensemble du Canada.

Tableau 2-8: Approvisionnement en eau des industries manufacturières selon l'utilisation^(12,13)

Groupes d'industries	Approvisionnement en eau (10 ⁶ m ³ /an)					Total 1981	Total 1986
	Fabrication	Refroidissement, condensation et production de vapeur	Sanitaires	Autres			
Aliments et boissons	129	260	36	5		430	627
Caoutchouc et matières plastiques	19	32	3	-		54	53
Textile	46	76	2	-		124	108
Bois	20	48	5	-		73	56
Papier et produits connexes	2188	658	43	10		2899	3029
Métaux primaires	711	1943	54	11		2719	1718
Fabrication du métal	16	12	2	-		30	25
Matériel de transport	48	52	7	2		109	117
Produits minéraux non métalliques	19	58	3	2		82	90
Produits du pétrole et du charbon	38	516	3	6		563	487
Produits chimiques et produits connexes	195	2614	31	13		2853	1674
Total	3429	6269	189	49		9936	7984

Remarques: Les tirets (-) correspondent à des quantités négligeables.
Les données ayant été arrondies, leur somme peut ne pas correspondre aux totaux indiqués.



Les diminutions du volume total par activité industrielle sont dues soit à une baisse ou à une rationalisation de l'usage de la ressource ou bien à une diminution de l'activité industrielle proprement dite. Les augmentations du volume de consommation sont probablement dues à un accroissement de l'activité industrielle.

Chaque secteur industriel peut avoir des exigences spécifiques quant aux caractéristiques de l'eau qu'il utilise pour effectuer sa production. C'est ce qu'on expose dans les paragraphes qui suivent.

2.5.1 Secteur agro-alimentaire

Ce secteur d'activité peut être divisé en 12 catégories ayant chacune des exigences particulières en ce qui concerne la qualité de l'eau d'alimentation. En général, cette eau ne doit pas modifier l'aspect, la texture ou le goût des aliments⁽¹¹⁾. Le tableau 2-9 présente les principales caractéristiques physico-chimiques normalement exigées pour les eaux potables utilisées dans les usines de transformation des aliments.

2.5.1.1 Boissons gazeuses

L'eau d'approvisionnement doit être potable. Les paramètres physico-chimiques les plus importants à contrôler sont les composés chlorés qui sont éliminés par l'utilisation du charbon activé, l'alcalinité (entre 50 et 128 mg/l en CaCO₃), le fer et le manganèse qui provoquent la précipitation des colorants, de plus la prolifération bactérienne peut affecter le goût et l'odeur⁽¹¹⁾.

Les eaux de procédé proviennent du lavage des machines de remplissage, du système de distribution du sirop et des autres équipements de manutention du produit ou des contenants.

**Tableau 2-9: Recommandations relatives à la qualité de l'eau approvisionnant
les industries agro-alimentaires⁽¹⁾**

Paramètres	Concentrations ¹							
	Boulangerie	Brasserie	Boissons gazeuses	Confiserie	Laiterie	Fruits et légumes (mise en conserve, congélation, déshydratation)	Fabrication générale	Sucreries
pH ²	-	6,5-7,0	<6,9	>7,0	-	6,5-8,5	-	-
Couleur ³	<10	<5	<10	-	ND	<5	5-10	-
Turbidité ⁴	<10	<10	1-2	-	-	<5	1-10	-
Goût, odeur ²	faible	faible	ND ^a	faible	ND	ND	faible	-
Matières en suspension	-	<800	<850	50-100	<500	<10	-	ND
Matières solides dissoutes	NS ^{b,c}	<100	-	-	<500	<500	<850	<20
Calcium	-	<30	-	-	-	<100	-	<10
Magnésium	<0,2	0,1-1,0	<0,1	<0,2	0,1-0,3	<0,2	<0,2	<1
Fer	<0,2 ^d	<0,1 ^d	<0,05	<0,2 ^d	0,03-0,1	<0,2 ^d	<0,2	<0,1
Manganèse	-	-	-	-	ND	-	-	<0,1
Cuivre	-	-	-	-	traces	<0,5	-	-
Ammonium	-	ND	-	-	-	-	-	<100
Hydrogencarbonates	-	<50	<5	-	-	-	-	<20
Carbonates	-	<100	<200	<250	<60	<250	-	<20
Sulfates	-	20-60	<250	<250	<30	<250	-	<20
Chlorures	-	<10	-	-	<20	<10	-	-
Nitrates	-	<1	-	-	-	<1	<1	-
Fluorures	-	<50	0,2-1,0	-	-	<1	-	-
Silice	NS ^b	<70	ND	-	<180	<250	10-250	<100
Dureté	-	<85	200-250	-	-	30-250	30-250	-
Alcalinité	<0,2	<0,2	50-128	<0,2	-	<1	-	-
Oxygène consommé	-	-	<15	-	<10	<0,2	-	-
Extraction au tétrachlorure de carbone	-	-	faible	-	-	-	-	-
Extraction au chloroforme	-	-	<0,2	-	-	-	-	-
Acidité	-	-	-	-	-	ND	-	-
Phénol	-	ND	ND	-	-	ND	-	ND
Nitrites	-	traces	traces	-	-	ND	-	ND
Matières organiques	-	-	-	-	-	ND	-	traces

(a) ND = non décelable
 (b) Un excès retardait la fermentation
 (c) NS = non spécifié
 (d) Fe et Mn total

1. Sauf indication contraire les unités sont des mg/l
 2. En unité de pH
 3. En unité de couleur vraie (UCV)
 4. En unité de turbidité néphéométrique (UTN)
 5. En unité TON (Threshold Odor Number) et FTN (Flavor Threshold Number)



2.5.1.2 Brasseries

L'eau utilisée dans les opérations de brassage doit être limpide, incolore, inodore, sans goût, exempte de fer et de manganèse, et d'une qualité bactériologique acceptable. La présence de certains éléments est souhaitable, le sulfate de calcium par exemple maintient le pH du moût à un niveau convenable pour la fermentation par les levures⁽¹¹⁾.

L'eau est utilisée pour le brassage, le refroidissement, le lavage des bouteilles, des fûts, des réservoirs, des cuves, etc

Les bières blondes nécessitent une faible teneur en hydrogénocarbonates et une haute teneur en sulfates. Les bières brunes ne demandent pas une eau dans laquelle les hydrogénocarbonates sont en faible teneur. En général, les éléments suivants sont à contrôler: le fer qui modifie la couleur de la bière, le magnésium à des concentrations supérieures à 30 mg/l qui donne une teinte rougeâtre et un goût piquant, la silice aux teneurs supérieures à 50 mg/l augmente la turbidité, les fluorures à des concentrations supérieures à 10 mg/l inhibent la fermentation et les chlorures à 20-60 mg/l donnent un goût plus doux à la bière⁽¹¹⁾.

La dureté de l'eau est importante au niveau du lavage des bouteilles. Elle peut produire un film insoluble qui tache les bouteilles. De plus, les eaux dures utilisées pour le lavage auront un effet direct sur la consommation des détergents⁽¹¹⁾.

2.5.1.3 Usines de transformation du lait

L'eau est utilisée pour préparer les solutions de lavage et de désinfection, pour rincer les équipements et parfois pour laver les produits. Du point de vue bactériologique la qualité de l'eau doit être acceptable. Certains ions métalliques peuvent affecter la qualité des produits laitiers: le cuivre, le fer et le manganèse catalysent le rancissement du gras du lait. Une eau ayant une concentration élevée en

sodium et employée pour reconstituer le lait, à partir de la poudre de lait, nécessaire à la fabrication du fromage cottage, aura pour effet de substituer le sodium au calcium contenu dans la caséine. Le caillé obtenu sera trop mou⁽¹¹⁾.

La dureté de l'eau est susceptible d'influencer indirectement la qualité des produits. En effet, les dépôts de tartre causés par les eaux dures peuvent favoriser la prolifération bactérienne en protégeant divers microorganismes de l'action des produits nettoyants et/ou désinfectants. Ces dépôts sont éliminés par des lavages avec des solutions d'acides nitrique et phosphorique⁽¹¹⁾.

2.5.1.4 Confiseries

Dans l'industrie de la confiserie, l'eau d'approvisionnement doit avoir une faible teneur en matières dissoutes soit moins de 100 mg/l. Ce paramètre est surtout d'ordre esthétique, en effet, il pourrait y avoir précipitation des sels qui troublent le produit. De plus, cette eau ne doit pas être acide puisqu'elle entraîne l'inversion du sucrose et rend les bonbons collants⁽¹¹⁾.

2.5.1.5 Raffineries de sucre

Les industries de raffinage du sucre recherchent une eau d'approvisionnement contenant de faibles quantités de substances solubles et de matières en suspension. Des eaux dures entraînent la formation de précipités qui se retrouvent dans le produit⁽¹¹⁾.

2.5.1.6 Conserveries

Les eaux utilisées dans les conserveries doivent être limpides et incolores, exemptes de fer et de manganèse, sans goût ni odeur désagréables et de qualité bactériologique acceptable. L'utilisation d'eaux dures pour la mise en conserve de pois, de haricots ou de lentilles est à éviter. Enfin, la dureté se combine aux



protéines et rend le produit moins tendre et de qualité inférieure. Pour les fruits ou autres produits acides, la dureté n'a que peu d'influence sur la qualité du produit⁽¹¹⁾.

2.5.1.7 Boulangeries

L'eau utilisée en boulangerie devrait être limpide, incolore, inodore, sans goût, exempte de fer et de manganèse et de qualité bactériologique acceptable. La présence de sulfates est nécessaire pour une bonne fermentation des levures⁽¹¹⁾.

Pour les gâteaux et les craquelins, une eau adoucie est fréquemment utilisée parce qu'elle donne un produit de meilleure qualité et plus uniforme⁽¹¹⁾.

2.5.1.8 Distilleries

Les eaux utilisées en distilleries doivent être limpides, incolores, exemptes de fer et de manganèse, sans odeur, ni goût étranger et de qualité bactériologique acceptable⁽¹¹⁾.

La dureté hydrogencarbonatée est une qualité recherchée dans le domaine de la distillerie. Elle permet de conserver un pH convenable pendant la fermentation du moût⁽¹¹⁾.

L'utilisation de bouteilles à remplissage unique fait qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser des eaux adoucies pour les rincer.

2.5.1.9 Usines de transformation des viandes

Les eaux d'approvisionnement doivent être limpides, incolores, inodores, sans goût, exemptes de fer et de manganèse et de qualité bactériologique acceptable.

Dans les usines de transformation des viandes, les eaux d'approvisionnement sont utilisées notamment pour l'alimentation des chaudières, l'éviscération, le lavage ou le refroidissement des carcasses, le nettoyage des équipements, des outils et des lieux, la mise en conserve et diverses autres utilisations⁽¹¹⁾.

2.5.1.10 Raffineries d'huiles comestibles

Les raffineries d'huiles comestibles fabriquent une variété de produits comme les huiles à salade ou de cuisson, des huiles hydrogénées, des savons, des poudres à récurer, des détergents ou des agents mouillants.

L'eau de fabrication doit être limpide, incolore, inodore, sans goût, exempte de fer et de manganèse et de qualité bactériologique acceptable. Le cuivre contenu dans l'eau peut nuire à la stabilité des huiles⁽¹¹⁾.

2.5.1.11 Production de fécule et de sirop de maïs

Les eaux utilisées pour la fabrication de fécule et de sirop de maïs doivent être limpides, incolores, inodores, sans goût et de qualité bactériologique acceptable.

Une eau dure augmente la teneur en cendre dans la fécule de maïs. Le magnésium en forte concentration rend le sirop de maïs trouble⁽¹¹⁾.

2.5.1.12 Production de glace

L'eau utilisée pour la fabrication de la glace doit être limpide, incolore, inodore, sans goût, exempte de fer et de manganèse, de qualité bactériologique acceptable et avoir une faible teneur en minéraux⁽¹¹⁾.



2.5.2 Industries chimiques et industries assimilées

Dans les industries chimiques, les eaux d'approvisionnement sont utilisées pour le refroidissement, la production de vapeur, la fabrication, le nettoyage et le transport des matériaux. L'eau de fabrication peut être subdivisée en deux usages: d'une part, elle peut devenir partie intégrante du produit (exemple: production d'acide, de peinture au latex, de colle à bois, etc.), et d'autre part, elle peut être utilisée comme solvant pour éliminer une impureté ou pour épurer un gaz libéré⁽¹¹⁾.

Les exigences de qualité sont particulières à chacun des sous-groupes de l'industrie chimique. À titre indicatif, les eaux utilisées dans le domaine pharmaceutique doivent rencontrer les normes de l'eau purifiée prescrites dans le U.S. Pharmacopia (1985)⁽¹¹⁾.

Le tableau 2-10 fournit les recommandations relatives à la qualité de l'eau d'approvisionnement utilisée par les industries chimiques et assimilées.

Tableau 2-10: Recommandations relatives à la qualité de l'eau approvisionnant les industries chimiques et assimilées⁽¹¹⁾

Paramètres	Concentrations ¹									
	Bases et chlore	Produits organiques	Produits Inorganiques	Plastiques transparents	Caoutchouc synthétique	Médicaments et produits pharmaceutiques	Savons et détergents	Peintures	Engrais	
pH ²	NS ^a	6,5-8,7	NS	NS	6,2-8,3	5,0-7,0	NS	NS	NS	
Couleur ³	NS	NS	NS	NS	<20	<5	NS	NS	NS	
Turbidité ⁴	NS	-	-	<2	-	<1	-	-	-	
Goût et odeur ⁵ (seuil)	NS	NS	NS	<2	NS	-	NS	NS	NS	
Calcium	<2	<68	NS	NS	<80	c	NS	NS	NS	
Magnésium	<2	<19	NS	NS	<35	-	NS	NS	NS	
Fer	<0,1	<0,1	NS	<0,02 ^b	<0,1	-	NS	NS	NS	
Manganèse	<0,1	<0,1	NS	NS	<0,1	-	NS	NS	NS	
Bicarbonates	NS	<128	NS	NS	-	-	NS	NS	NS	
Sulfates	NS	NS	NS	NS	NS	c	NS	NS	NS	
Chlorures	NS	NS	NS	NS	NS	c	NS	NS	NS	
Nitrates	NS	NS	NS	NS	NS	-	NS	NS	NS	
Silica	NS	NS	NS	NS	NS	-	NS	NS	NS	
Dureté (en CaCO ₃)	faible	<250	NS	NS	<350	-	NS	NS	NS	
Alcalinité (en CaCO ₃)	NS	<125	NS	NS	<150	-	NS	NS	NS	
Matières solides dissoutes	NS	NS	NS	NS	NS	-	NS	NS	NS	
Matières en suspension	NS	NS	NS	<200	NS	-	NS	NS	NS	
Oxygène dissous	NS	NS	NS	NS	<5	<10	NS	NS	NS	
Demande chimique en oxygène	NS	NS	NS	NS	NS	c	NS	NS	NS	
Demande biochimique en oxygène	NS	NS	NS	NS	NS	-	NS	NS	NS	

a NS = non spécifié. L'eau est utilisée telle qu'elle arrive, car on n'a jamais eu de problèmes aux concentrations observées.

b Fe et Mn total.

c Normes figurant dans la monographie officielle de la U.S. Pharmacopia (1985) mais non traduites en limites minimales acceptables (c.-à-d. concentration maximale).

1: sauf indication contraire les unités sont en mg/l

2: en unité de pH

3: en unité de couleur vraie (UCV)

4: en unité de turbidité néphéométrique (UTN)

5: en unité TON (Threshold Odor Number) et FTN (Flavor Threshold Number)



2.5.3 Industries textiles

L'eau dans les industries du textile est nécessaire à de nombreuses étapes de transformation. Parmi celles-ci mentionnons: l'apprêt, le lavage, le blanchiment et la teinture. La qualité de l'eau doit être de bonne à excellente selon les étapes de transformation. Ainsi, pour les opérations de teinture, l'eau doit être de très grande qualité tandis que les opérations de lavage exigent des eaux de bonne qualité. Les paramètres indésirables sont les algues, l'alcalinité, l'aluminium, le calcium, la couleur, le cuivre, les matières solides dissoutes, la dureté, le sulfure d'hydrogène, le fer, le manganèse et les matières organiques⁽¹¹⁾.

Le tableau 2-11 résume les recommandations relatives à la qualité de l'eau d'approvisionnement des industries textiles.

Tableau 2-11: Recommandations relatives à la qualité de l'eau approvisionnant l'industrie textile⁽¹¹⁾

Paramètres	Concentrations ¹					
	Coton, laine, fibres synthétiques				Viscose, rayonne	
	Suspension d'apprêtage	Lavage à fond	Blanchiment	Teinture	Fabrication de la pâte	Fabrication
Fer	<0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05 (Fe + Mn)	ND ^a
Manganèse	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	ND
Cuivre	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<5	-
Matières solides dissoutes	<100	<100	<100	<100	<100	-
Matières en suspension	<5	<5	<5	<5	-	-
Dureté (en CaCO ₃)	<25	<25	<25	<25	<8	<55
pH ² :						
Coton	6,5-10,0	9,0-10,5	2,5-10,5	7,5-10,0	-	-
Synthétique	6,5-10,0	3,0-10,5	SO ^b	6,5-7,5	-	-
Laine	6,5-10,0	3,0-5,0	2,5-5,0	3,5-6,0	-	-
Viscose, rayonne	-	-	-	-	-	7,8-8,3
Couleur ³	<5	<5	<5	<5	<5	-
Turbidité ⁴	-	-	-	<15	<5	<0,3
Aluminium	-	-	-	-	<8	-
Silice	-	-	-	-	<25	-
Alcalinité (en CaCO ₃)	-	-	-	-	50-75	50-75

a: ND = non décelable
b: SO = sans objet

1: sauf indication contraire les unités sont en mg/l
2: en unité de pH
3: en unité de couleur vraie (UCV)
4: en unité de turbidité néphélemétrique (UTN)

2.5.4 Industries des peaux et du tannage

Les eaux de procédés des industries des peaux et du tannage proviennent de nombreuses étapes de transformation. Les principales sont: la conservation, le trempage, l'épilage, l'écharnage, le façonnage, la neutralisation, le déchaulage, le picklage, le tannage, le retannage, la teinture, le confitage, le séchage et la finition des peaux⁽¹¹⁾. Au Québec, il reste très peu de tanneries en activité.

Le tableau 2-12 résume les recommandations relatives à la qualité de l'eau nécessaire à l'industrie des peaux et du tannage.

Tableau 2-12: Recommandations relatives à la qualité de l'eau approvisionnant l'industrie des peaux et du tannage⁽¹¹⁾

Paramètres	Concentrations ¹		
	Tannage	Finition	Teinture
Alcalinité (en CaCO ₃)	<130	NS ^a	NS
pH ²	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0
Dureté (en CaCO ₃)	<150	NS ^b	ND ^c
Calcium	<60	NS ^b	ND
Chlorures	<250	<250	-
Sulfates	<250	<250	-
Fer	<50	<0,3	<0,1
Manganèse	-	<0,2	<0,01
Matières organiques: extrait au chloroforme	-	<0,2	ND
Couleur ³	<5	<5	<5
Turbidité ⁴	ND	ND	ND

a NS = non spécifié: l'eau est habituellement acceptable telle qu'elle est reçue, c.-à-d. on n'a jamais eu de problèmes aux concentrations observées

b Adoucie à la chaux

c ND = non décelable

1: sauf indication contraire les unités sont en mg/l

2: en unité de pH

3: en unité de couleur vraie (UCV)

4: en unité de turbidité néphélométrique (UTN)



2.5.5 Industries pétrolières

L'eau d'approvisionnement dans les industries pétrolières est utilisée pour le refroidissement, la production de vapeur, le raffinage du pétrole et les besoins sanitaires⁽¹¹⁾. Les exigences de qualité pour le refroidissement et la production de vapeur ont été énumérées dans les sections traitant de ces sujets. Pour les activités reliées au raffinage, l'industrie pétrolière exige que l'eau d'alimentation ait les caractéristiques qui figurent dans le tableau 2-13.

Tableau 2-13: Recommandations relatives à la qualité de l'eau approvisionnant l'industrie pétrolière⁽¹¹⁾

Paramètres	Concentrations ¹
pH ²	6,0-9,0
Couleur ³	NS ^a
Calcium	<75
Magnésium	<25
Fer	<1
Hydrogénocarbonates	NS
Sulfates	NS
Chlorures	<200
Nitrates	NS
Fluorures	NS
Silice	NS
Dureté (en CaCO ₃)	<350
Matières solides dissoutes	<750
Matières en suspension	<10

a NS = non spécifié. Ce paramètre n'a jamais été un problème aux concentrations observées

1: sauf indication contraire les unités sont en mg/l

2: en unité de pH

3: en unité de couleur vraie (UCV)

2.5.6 Industries des pâtes et papiers

L'eau dans les industries des pâtes et papiers est utilisée pour la préparation de produits chimiques qui servent aux étapes de cuisson et de blanchiment, pour le

lavage, le transport de la pâte et la transformation de la pâte en produit sec. Certains paramètres peuvent influencer la qualité du papier au niveau de la blancheur, notamment: la dureté, la turbidité, la couleur et la présence de fer dans l'eau⁽¹¹⁾. Le tableau 2-14 fournit les recommandations relatives à la qualité de l'eau qui entre dans le procédé de fabrication de la pâte et du papier.

Tableau 2-14: Recommandations relatives à la qualité de l'eau approvisionnant l'industrie des pâtes et papiers⁽¹¹⁾

Paramètres	Concentrations ¹					
	Papiers fins	Bois	Pâte Kraft		Pâte chimique	
			Blanchie	Non blanchie	Blanchie	Non blanchie
pH ²	-	6-8	-	-	6-8	6-8
Couleur ³	<40	<100	<25	<100	<50	<100
Turbidité ⁴	<10	<20	<40	<100	<10	<20
Calcium	<20	<20	-	-	<20	<20
Magnésium	<12	<12	-	-	<12	<12
Fer	<0,1	<0,1	<0,2	<1,0	<0,1	<1,0
Manganèse	<0,3	<0,1	<0,1	<0,5	<0,05	<0,5
Chlorures	-	25,75	<200	<200	<200	<200
Silice	<20	<100	<50	<100	<50	<50
Dureté	<100	<100	<100	<100	<100	<100
Alcalinité	40-75	<150	<75	<150	-	-
Matières solides dissoutes	<200	<250	<300	<500	<200	<250
Matières en suspension	<10	-	-	-	<10	<10
Température (°C)	-	-	-	-	<36	-
CO ₂	<10	<10	<10	<10	-	-
Tendance à la corrosion	Nulle	Nulle	Nulle	Nulle	Nulle	Nulle
Chlore résiduel	<2,0	-	-	-	-	-

- 1: sauf indication contraire les unités sont en mg/l
- 2: en unité de pH
- 3: en unité de couleur vraie (UCV)
- 4: en unité de turbidité néphélométrique (UTN)

Le tableau 2-15 indique l'effet néfaste de certains paramètres de l'eau d'approvisionnement sur les différentes étapes de transformation dans l'industrie des pâtes et papiers.

Tableau 2-15: Effets des caractéristiques de l'eau approvisionnant l'industrie des pâtes et papiers⁽¹¹⁾

Paramètres	Résine	Mousse	Tartre	Corrosion	Dépôts	Traitement antiforms bactériens	Stabilité de la solution	Utilisation d'atun	Encollage à la colophane	Blancheur	Qualité de la feuille	Rétention
Dureté	X ^a	X	X	X	X	-	X	X	X	X	-	X
Alcalinité	-	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X
Sulfates	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-
Chlorures	-	X	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-
Silice	-	-	X	X	X	-	X	-	X	X	X	X
Matières solides dissoutes	-	X	-	X	X	-	X	-	X	X	X	X
Carbonates	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Couleur	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Turbidité	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
pH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ABS ¹	-	-	X	-	X	X	-	-	X	X	X	X
Phosphates	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-
Fer	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-
Manganèse	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-
Oxygène	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-
CO ₂ libre	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-
Température	-	-	X	X	X	X	-	-	X	-	-	-

^a X = effet négatif
¹ benzènesulfonate d'alkyle (ABS en anglais)



2.5.7 Industries du fer et de l'acier

Les eaux de procédé dans les industries du fer et de l'acier proviennent de nombreuses étapes de production, notamment l'extinction du coke, l'extinction du laitier, l'épuration des gaz et le laminage à chaud. Plusieurs de ces opérations ne nécessitent pas une très grande qualité d'eau. Seules les opérations de laminage à froid nécessitent une eau adoucie et déminéralisée. Pour ce secteur, la plus grande contrainte est la nécessité de disposer d'une eau d'approvisionnement abondante⁽¹⁾. Le tableau 2-16 indique les recommandations relatives à la qualité de l'eau de procédé dans ce secteur industriel.

Tableau 2-16: Recommandations relatives à la qualité de l'eau approvisionnant l'industrie du fer et de l'acier⁽¹¹⁾

Paramètres	Concentrations ¹				
	Laminage à chaud, extinction, épuration des gaz	Laminage à froid	Eau de rinçage		Fabrication de l'acier
			Adoucie	Déminéralisée	
pH ²	5,0-9,0	5,0-9,0	6,0-9,0	-	6,8-7,0
Matières en suspension	<25	<10	ND ^a	ND	-
Matières solides dissoutes	<1000	<1000	ND	ND	-
Matières décantables	<100	<5,0	ND	ND	-
Oxygène dissous	(minimum pour avoir des conditions aérobies)				
Température ³	<38	<38	<38	<38	<38
Dureté	NS ^{b,c}	NS ^b	<100	<0,1	<50
Alcalinité	NS ^c	NS ^c	NS ^c	<0,5	-
Sulfates	<200	<200	<200	-	<175
Chlorures	<150	<150	<150	ND	<150
Huile	NS	ND	ND	ND	ND
Matières flottantes	NS	ND	ND	ND	ND

a: ND = non décelable

b: Limité par d'autres traitements

c: NS = non spécifié; ce paramètre n'a jamais été un problème aux concentrations observées

1: sauf indication contraire les unités sont en mg/l

2: en unité de pH

3: en degré Celcius (°C)



2.6 CARACTÉRISTIQUES DES EAUX USÉES INDUSTRIELLES

Les caractéristiques des eaux usées industrielles peuvent varier de façon significative d'une industrie à une autre et même parfois d'un procédé à un autre à l'intérieur même d'une usine. Les données qui existent dans la littérature sur les charges volumiques et polluantes datent de plus de 25 ans. Compte tenu de l'évolution importante dans le domaine du traitement des eaux usées industrielles et de la mise en oeuvre de procédés moins polluants ou de technologies propres, les données rapportées dans des caractérisations types remontant à dix ans ou plus ne sont probablement plus valables.

Dans le chapitre 4, on fournit des concentrations typiques pour les différents paramètres de pollution retrouvés dans les eaux usées industrielles. Toutefois, sans minimiser la valeur des chiffres qui apparaissent dans le chapitre 4, il est bon de mentionner que les guides techniques sectoriels, préparés par le Service de l'assainissement des eaux (SAE), fournissent des données relativement récentes sur des effluents bruts d'entreprises québécoises représentatives.

Le lecteur est donc invité à se reporter aux guides sectoriels suivants pour se faire une bonne idée des eaux usées générées dans chacun des secteurs en question:

- l'industrie de la transformation du lait et l'environnement⁽¹⁴⁾;
- Guide technique sur les abattoirs⁽¹⁵⁾;
- l'industrie de la transformation de la pomme de terre et l'environnement⁽¹⁶⁾;
- l'industrie du bois traité⁽¹⁷⁾;
- les usines de transformation de produits marins et environnement⁽¹⁸⁾;
- la fabrication de pâtes et papiers⁽¹⁹⁾.

De plus, les bilans annuels énumérés ci-après fournissent également des informations intéressantes:

- le bilan annuel de conformité environnementale - secteur minier⁽²⁰⁾;
- le bilan annuel de conformité environnementale - secteur pâtes et papiers⁽²¹⁾;
- le bilan annuel de conformité environnementale sur les rejets liquides des raffineries de pétrole⁽²²⁾;
- le bilan sectoriel sur les alumineries⁽²³⁾.

Au niveau national, Environnement Canada diffuse annuellement l'inventaire national des rejets de polluants (INRP). En avril 1995, l'inventaire pour l'année 1993 a été diffusé⁽²⁴⁾. L'accès à ces données est public.

On retrouve des informations sur 178 substances rejetées par 1466 industries dans les différents milieux (eau, air et sol) à travers le Canada. Il est important de noter que ces données ont été obtenues de différentes façons telles que caractérisation, évaluation, etc. Elles n'expriment pas des concentrations et elles peuvent être imprécises.

Dans le tableau 2-17 on résume les caractéristiques générales des eaux usées engendrées par les principales activités industrielles existantes au Québec.



Tableau 2-17: Caractéristiques générales des eaux usées industrielles⁽²⁵⁾

TYPES D'ACTIVITÉS INDUSTRIELLES	CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES EAUX USÉES INDUSTRIELLES
<ul style="list-style-type: none"> • Agro-alimentaires: Industries laitières Abattoirs et salaisons Conserveries de fruits et légumes Brasseries et distilleries 	<p>Forte concentration en composés organiques dissous, surtout des protéines, du gras, du lactose, généralement un pH élevé et une concentration importante de phosphates.</p> <p>Forte concentration en composés organiques dissous et en suspension, incluant protéines, sang, graisses, fumier et microorganismes pathogènes, composés inorganiques en concentrations élevées (chlorures, phosphates et azote ammoniacal) et pH généralement élevé dans les salaisons.</p> <p>Forte concentration en composés organiques dissous et en suspension provenant des matières premières, pH généralement élevé dans les usines embouteillant les jus.</p> <p>Forte concentration en composés organiques dissous et en suspension, pH généralement élevé des eaux de lavage.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Pâtes et papiers 	<p>Très grandes quantités de composés organiques dissous et en suspension, acides résiniques, acides gras, composés phénoliques, HAP, composés inorganiques et problèmes de pH.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Textiles 	<p>Composés organiques dissous et en suspension relativement abondants, fibres, couleurs fluctuantes, huiles et graisses, composés phénoliques et problèmes de pH possibles.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Raffinage du pétrole 	<p>Composés phénoliques, huiles émulsifiées ou non, composés organiques dissous, matières en suspension, azote ammoniacal, sulfures.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Plastiques et résines 	<p>Composés organiques dissous, incluant acides et aldéhydes, composés phénoliques, cellulose, alcools, surfactants et huiles.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Chimie organique 	<p>Composés organiques dissous, incluant des acides, des aldéhydes, des composés phénoliques et des huiles sous formes émulsifiées ou non.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Caoutchouc 	<p>Composés organiques dissous et en suspension, huiles également.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Coke et gaz 	<p>Composés phénoliques, ammoniacque et composés organiques dissous.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Explosifs 	<p>Acides organiques et alcools, savons et huiles.</p>

TYPES D'ACTIVITÉS INDUSTRIELLES	CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES EAUX USÉES INDUSTRIELLES
• Industries pharmaceutiques	Forte concentration en composés organiques dissous et en suspension, incluant des surfactants et des organismes biologiques.
• Revêtement de surface (placage)	Métaux et composés inorganiques toxiques, cyanures, phosphates, huiles et graisses et des problèmes de pH.
• Tannage et finition du cuir	Composés organiques dissous et en suspension, huiles et graisses, azote organique, poils et chair, chrome et problèmes de pH.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) Ministère de l'Environnement, *"L'eau potable au Québec, un premier bilan de sa qualité"*, Québec, Éditeur officiel du Québec, Québec, 1989, 67 p.
- 2) Service de l'assainissement, *"Base de données industrielles"*, Direction des politiques du secteur industriel, Ministère de l'Environnement et de la Faune.
- 3) VALIRON, F., *"Mémento de l'exploitant de l'eau et de l'assainissement"*, Technique et Documentation (Lavoisier), Paris, 2^e édition, 1987, 1008 p.
- 4) Ministère des Affaires municipales, *"Les réseaux d'aqueduc et d'égouts, Les Publications du Québec"*, Québec, 1991.
- 5) MEINCK, F., STOFF, H., KOHLSCHÜTER, H., *"Les eaux résiduaires industrielles"*, Paris, 2^e édition, Masson, 1977, 863 p.
- 6) SAMOKHIN, V.N. et all, *"Design Handbook of wastewater systems-Vol. 1, Wastewater collection and transportation"*, Allerton Press Inc., New York, 1986, 4 volumes, vol. 4, 152 p.



- 7) MONTGOMERY, James M., *"Water treatment principle and design"*, John Wiley and Sons, New York, 1985, 696 p.
- 8) TCHOBANOGLOUS, Georges, *"Wasterwater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse"*, McGraw-Hill, New York, 2^e édition, 1979, 920 p.
- 9) STRAUSS, Shelton D., *"Water treatment"*, Power, june 1993, vol. 137, n°6, pp 17-102.
- 10) KEMMER, Frank N., *"Manuel de l'eau NALCO"*, Technique et Document Lavoisier, Paris, 1984.
- 11) Conseil Canadien des Ministres des Ressources et de l'environnement, *"Recommandations pour la qualité des eaux au Canada"*, Ottawa, 1987, pp 5-3 à 5-8.
- 12) Gouvernement du Canada, *"L'état de l'environnement au Canada"*, Ottawa, 1986.
- 13) Gouvernement du Canada, *"L'état de l'environnement au Canada"*, Ottawa, 1991.
- 14) POIRIER, Micheline, *"Guide technique sectoriel: Industrie de la transformation du lait et environnement"*, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Montréal, 1996.
- 15) BERGEVIN, Pierre, *"Guide technique sectoriel: Abattoirs et environnement"*, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Montréal, 1996 (en préparation).



- 16) POIRIER, Micheline, *“Guide technique sectoriel: Industrie de la transformation des pommes de terre et environnement”*, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Montréal, 1996 (version préliminaire).
- 17) Direction des Politiques du Secteur Industriel, *“Guide technique sectoriel sur l'industrie du bois traité”*, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Montréal, 1995.
- 18) Direction des Politiques du Secteur Industriel, *“Guide technique sectoriel: Usines de transformation de produits marins et environnement”*, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Québec, 1995 (version préliminaire).
- 19) Direction des Politiques du Secteur Industriel, *“Guide technique sectoriel: Fabrication de pâtes et papiers”*, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Québec, 1995 (version préliminaire).
- 20) Direction des Programmes Sectoriels, *“Bilan annuel de conformité environnementale-secteur minier”*, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Québec, 1995.
- 21) Direction des Programmes Sectoriels, *“Bilan annuel de conformité environnementale-secteur pâtes et papiers”*, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Québec, 1994-95.
- 22) Direction des Programmes Sectoriels, *“Bilan annuel de conformité environnementale-secteur des raffineries de pétrole-1994-1995”*, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Montréal, 1996.
- 23) Direction des Programmes Sectoriels, *“Bilan annuel de conformité environnementale-secteur des alumineries”*, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Québec, (en préparation).



- 24) ENVIRONNEMENT CANADA, *"Inventaire National des Rejets de Polluants"*, Ottawa, 1993.

- 25) GORONSZY, MERVIN C., ECKENFELDER, W. Wesley, FROELICH, Emery, *"Wastewater - A guide to industrial pretreatment"*, Chemical Engineering, New York, Juin 1992, p. 78-82.



CHAPITRE 3

LA RÉDUCTION DES EFFLUENTS LIQUIDES

Depuis le début de l'industrialisation et surtout entre les années 1950 et 1970, ère du tout-à-l'égout, la pollution a très souvent eu quelques longueurs d'avance sur la dépollution. En cette fin du XX^e, la dépollution s'accompagne de leitmotifs tels que: se récréer sans polluer, travailler sans polluer, produire sans polluer, etc. Cela tombe sous le sens qu'éviter de polluer est le meilleur moyen de protéger l'environnement. Cependant, nous devons admettre qu'un très grand nombre de procédés industriels s'accompagnent systématiquement de rejets aqueux qui évacuent en dehors des lieux de production des proportions variables de matières premières, de produits élaborés perdus le long de la chaîne de production et des produits nettoyants.

Les environmentalistes préconisent depuis plusieurs décennies la réduction de la pollution notamment par la diminution du gaspillage, l'élimination des polluants à la source, l'épuration des effluents et la production sans pollution.

Plusieurs entreprises ont emboîté le pas et, dans certains cas, ont indiqué la marche à suivre. À l'occasion certaines ont d'ailleurs opté pour l'implantation de technologies propres que le ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec publicise en distribuant des fiches spécifiques⁽¹⁾.



3.1 NOTIONS GÉNÉRALES DE TECHNOLOGIES PROPRES

Vu sous l'angle de la protection de l'environnement, les technologies propres consistent à implanter des dispositions dont les objectifs sont de réduire à la source le volume et la charge polluante des eaux de procédé.

Tel que mentionné dans la fiche "L'autre manière d'assainir les eaux usées industrielles"¹, l'identification des mesures internes, destinées à réduire à la source le volume et la charge polluante des eaux usées, exige l'examen en profondeur des procédés industriels en respectant deux principes simples:

- conserver ou récupérer tout ce qui a une quelconque valeur;
- éviter de traiter inutilement.

Cet examen en profondeur peut aller jusqu'à remettre en cause le(s) processus de fabrication et ultimement ne pas créer une pollution s'il est possible de l'éviter. Les entreprises sont très intéressées par tout ce qui est susceptible d'engendrer des retombées économiques positives en particulier: la réduction de la consommation d'eau, la réduction du gaspillage de matières premières, la valorisation ou le recyclage de sous-produits, la modification des procédés de nettoyage, la diminution, voire même la suppression des frais de dépollution.

À toute fin pratique, il est assuré que l'examen en profondeur de l'usine et du procédé de production permettra d'abord d'identifier des interventions élémentaires qu'on énumère dans le paragraphe intitulé "Opérations préliminaires". Ensuite, on signale quelques exemples "d'aménagements aux procédés de production" et les entreprises en voie de se moderniser ou de s'implanter devraient scruter les avantages et les inconvénients de tels aménagements avant d'opter pour un procédé plutôt qu'un autre. Finalement, dans de nombreuses entreprises, le recours à des "procédés propres" doit être étudié. Après avoir considéré l'impact de la nouvelle technologie, fait le bilan des coûts engendrés par l'épuration des effluents et estimé les bénéfices escomptés à long terme d'un procédé non-

polluant ou produisant un minimum de pollution, la substitution peut s'avérer payante.

3.2 LES OPÉRATIONS PRÉLIMINAIRES

Les dirigeants des entreprises ont la réputation de gérer adéquatement leurs procédés de production mais leurs connaissances environnementales sont généralement sommaires. Ils s'interrogent rarement sur leur consommation en eau et sur le degré de pollution des effluents qu'ils rejettent. Par ailleurs, de nombreuses industries se sont agrandies progressivement et de ce fait, l'agencement de leurs procédés de production n'est pas des plus rationnels: leurs eaux polluées, leurs eaux de refroidissement et les eaux de pluie aboutissent possiblement dans le même égout de bâtiment puis dans le même égout municipal.

Rares sont les industries qui, d'elles-mêmes, ont instauré un programme de gestion de l'eau ou installé des systèmes de prétraitement de leurs eaux de procédé. Donc plus souvent qu'autrement, les programmes d'assainissement des eaux ou de réduction des rejets industriels, que le ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec exige, englobent des corrections très ordinaires avant de songer à des traitements épurateurs ou des changements de procédés.

Tout ceci revient à dire qu'une bonne planification est indispensable puisque la réduction de la pollution a plus de chance d'être efficace si les entreprises commencent par mettre sur pied un programme de contrôle de leurs rejets. Une personne doit être chargée de préparer ce programme, de l'implanter et d'en assurer le suivi. Selon la taille de l'entreprise, il s'étalera sur quelques semaines ou quelques mois, parfois sur quelques années et ses principaux objectifs seront la réduction du gaspillage de l'eau, des pertes de matières premières et/ou de produits élaborés, du gaspillage de l'énergie et le respect des normes de rejet.



Avant de mentionner les opérations préliminaires les plus courantes, rappelons qu'elles sont toujours précédées d'une étude méthodique et exhaustive des utilisations de l'eau, des procédés de production couplée à la sensibilisation et à l'implication de tout le personnel⁽¹⁾. La personne responsable du programme d'assainissement doit produire un rapport de la situation dans lequel apparaissent les éléments suivants:

- origine, qualité et usage des eaux d'approvisionnement,
- diagramme de répartition et d'utilisation des eaux dans l'usine,
- plans des réseaux d'évacuation des eaux de procédé, des eaux de refroidissement, des eaux sanitaires et des eaux de pluie,
- bilan de l'utilisation des eaux dans les opérations de production, de refroidissement, de lavage, de rinçage, etc,
- comparaison des utilisations théoriques et réelles de ces eaux,
- bilan des matières premières et des rendements pendant la production,
- origines, volumes et charges des effluents,
- suggestions de mise en application d'opérations préliminaires.

Comme on l'a déjà mentionné dans "L'autre manière d'assainir les eaux usées industrielles"⁽¹⁾, les opérations préliminaires répertoriées dans le tableau 3-1 sont peu coûteuses et fort avantageuses. Elles visent à réduire la pollution, à la concentrer et à limiter le volume d'eau polluée à traiter. On les a regroupées dans cinq catégories bien que les expressions réduire l'utilisation d'eau, réemployer les eaux, réemployer les condensats, etc. peuvent apparaître synonymes. Les actions suivantes constituent les opérations préliminaires:

- connaître et contrôler sa consommation en eau,
- séparer les eaux polluées et les eaux non-polluées,
- réduire l'utilisation d'eau,
- réemployer l'eau,
- optimiser l'utilisation des matières premières et des produits.

**Tableau 3-1: Réduire et concentrer la pollution:
Opérations préliminaires et moyens privilégiés**

OPÉRATIONS PRÉLIMINAIRES	MOYENS PRIVILÉGIÉS	SECTEURS INDUSTRIELS (RÉFÉRENCES)
CONNAÎTRE ET CONTRÔLER SA CONSOMMATION EN EAU	<ul style="list-style-type: none"> Utiliser des compteurs d'eau pour établir la consommation de chaque type d'utilisation (entrées, production, refroidissement, lavage, rinçage, etc). 	Moyen applicable dans toutes les entreprises.
SÉPARER LES EAUX POLLUÉES ET LES EAUX NON-POLLUÉES	<ul style="list-style-type: none"> Déverser les eaux de pluie à l'égout pluvial ou les utiliser pour effectuer un refroidissement indirect. Acheminer les eaux de refroidissement indirect vers l'égout pluvial. Réemployer les condensats. 	<p>Plusieurs entreprises québécoises entreposent l'eau de pluie et s'en servent pour le refroidissement indirect.</p> <p>S'il n'est pas possible de réutiliser ces eaux, le MEF exige qu'elles soient rejetées à l'égout pluvial.</p> <p><i>Industrie laitière:</i> La production de poudre de lait ou de lactosérum génère des volumes d'eau évaporée importants qui peuvent être condensés et utilisés pour effectuer le lavage des équipements.</p> <p><i>Industrie textile:</i> vapeur condensée après avoir servi à chauffer les tunnels de séchage.</p> <p><i>Industrie des fertilisants:</i> lavage de la vapeur sortant des saturateurs par de l'acide nitrique et réutilisation pour produire des ammonitrates⁽²⁾.</p>
RÉDUIRE L'UTILISATION D'EAU	<ul style="list-style-type: none"> Réemployer les eaux de refroidissement indirect en installant des tours de refroidissement (réutilisation continue) ou en les réutilisant dans un procédé de production (économie d'énergie). Installer des vannes à fermeture automatique. Laver à haute pression et à faible débit. 	<p>Tous; de nombreuses installations notamment dans les usines productrices de chlorate de sodium, de bardeaux d'asphalte, de tuyaux en caoutchouc, de matières plastiques, etc.^(3,4).</p> <p><i>Industrie textile:</i> eaux de refroidissement utilisées pour le lavage des tissus.</p> <p><i>Abattoirs:</i> l'arrêt de la chaîne entraîne une interruption des gicleurs utilisés pour laver les carcasses.</p> <p><i>Revêtement de surface:</i> douches de rinçage asservies à l'introduction des pièces à rincer dans le bassin de rinçage et à leur sortie.</p> <p><i>Industries agro-alimentaires</i> (lait, viandes et conserveries): systèmes projetant les solutions de nettoyage à des pressions entre 4 000 et 10 000 kPa.</p>



OPÉRATIONS PRÉLIMINAIRES	MOYENS PRIVILÉGIÉS	SECTEURS INDUSTRIELS (RÉFÉRENCES)
<p>RÉDUIRE L'UTILISATION D'EAU (suite)</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Asservir les débits à des thermostats. · Asservir les débits à des cellules de conductivité. 	<p>Refroidissement indirect dans certaines usines (embouteillage).</p> <p>Mise en marche des résines échangeuses d'ions et adjonction d'eau déminéralisée dans le système de rinçage à contre-courant (voir Fiche 6)⁽¹⁾; arrêter les rinçages lorsque la conductivité de l'eau de rinçage est similaire à celle employée pour réaliser le rinçage.</p>
<p>RÉEMPLOYER L'EAU</p>	<ul style="list-style-type: none"> · réutilisation de l'eau de procédé. · réutiliser en partie une eau de procédé. · laver et/ou rincer à contre-courant. · favoriser les circuits fermés. · Utiliser l'eau contaminée pour des tâches moins nobles. 	<p><i>Industrie agro-alimentaire</i>: récupération et réutilisation des eaux de procédé (après décantation) lors de l'extraction de la caféine dans les grains de café.</p> <p><i>Industries des pâtes et papiers</i>: réutiliser continuellement l'eau pendant l'écorçage; effectuer le lavage des copeaux ou des billes de bois en circuit fermé⁽⁴⁾.</p> <p><i>Industrie des fertilisants</i>: les eaux de lavage du procédé NPK recueillies et utilisées pour fabriquer les engrais PK⁽²⁾.</p> <p><i>Industrie des pâtes et papiers</i>: utilisation des eaux blanches pour laver la pulpe^(4,5).</p> <p><i>Industries textiles</i>: lavage à contre-courant des tissus imprimés.</p> <p><i>Revêtement de surface</i>: rinçage à contre-courant après les bains de placage⁽¹⁾.</p> <p><i>Industrie des pâtes et papiers</i>: installer des laveurs multistades à contre-courant⁽⁴⁾.</p> <p><i>Industrie des fertilisants</i>: eaux fortement chargées en fluor intégralement recyclées⁽³⁾.</p> <p><i>Revêtement de surface</i>: eaux de rinçage chargées d'acide chromique traversant des résines échangeuses d'ions, réutilisées pour alimenter le rinçage à contre-courant qui suit le bain de placage à l'acide chromique⁽¹⁾.</p> <p><i>Industrie des pâtes et papiers</i>: utiliser les eaux blanches ou des condensats faiblement contaminés au dernier stade de lavage de la pâte⁽⁴⁾.</p> <p><i>Aluminerie</i>: réutiliser en majeure partie l'eau du refroidissement direct (avec lubrifiant) après un traitement primaire⁽⁶⁾.</p> <p><i>Production des croustilles</i>: utiliser l'eau de rinçage pour laver les pommes de terre.</p> <p><i>Abattoir de porcs</i>: Ségrégation de l'eau utilisée pour rincer les carcasses coupées en deux et réemploi de cette eau pour laver les porcs pendant l'épilation.</p> <p><i>Abattoir de volailles</i>: Utilisation d'une partie de l'effluent épuré pour alimenter la ligne d'abattage après avoir traité cet effluent dans une centrale de traitement⁽⁷⁾.</p>



OPÉRATIONS PRÉLIMINAIRES	MOYENS PRIVILÉGIÉS	SECTEURS INDUSTRIELS (RÉFÉRENCES)
OPTIMISER L'UTILISATION DES MATIÈRES PREMIÈRES ET DES PRODUITS	<ul style="list-style-type: none"> · Disposer les silos, les cuves et les remplisseuses de façon à réduire le plus possible les pompages, les conduites et les bassins intermédiaires. · Minimiser les risques de déversements par l'installation d'alarmes de niveau ou par un système d'arrêt automatique des pompes. · Vidanger complètement les réservoirs et les appareils avant de les laver. · Transformer une production en cuvée en un procédé continu 	<p><i>Industrie laitière</i>: production des yaourts et des fromages ⁽¹⁾.</p> <p>Tous les secteurs industriels utilisent des réservoirs pour diverses matières premières, divers sous-produits, certains produits de nettoyage, etc; les équiper d'alarmes de niveau est une précaution indispensable en plus de les entourer de digues de retenue.</p> <p>Notamment dans les industries agro-alimentaires: laiteries, fromageries, conserveries, brasseries, production de liqueurs douces; également dans les usines pétrochimiques, chimiques, etc.</p> <p><i>Industrie chimique organique</i>: la production de l'acide adipique en continu permet d'obtenir un rendement voisin de 90%, de réduire la consommation de l'acide nitrique, de diminuer le débit des eaux usées de 98% et la DCO de 86%, de récupérer l'énergie de la réaction exothermique ⁽²⁾.</p>

3.3 LES AMÉNAGEMENTS AUX PROCÉDÉS DE PRODUCTION

La réalisation des opérations préliminaires se traduit par des réductions intéressantes et non négligeables de la pollution, cependant elle n'est généralement pas suffisante pour qu'un effluent industriel soit conforme aux normes de rejet dans les égouts municipaux domestiques ou pluviaux. Toutefois, les opérations préliminaires sont susceptibles de réduire appréciablement le nombre et/ou la taille des équipements de prétraitement ou de traitement.

Comme nous l'avons laissé entendre dans le paragraphe "notions générales de technologies propres", l'analyse critique du procédé de production ou de transformation s'avère indispensable dans la plupart des entreprises puisqu'elle est susceptible d'une part d'augmenter la productivité et d'autre part de rendre le procédé moins polluant. L'observation d'une ligne de production en marche, les suggestions des employés, le bilan des matières premières, le calcul du rendement des systèmes de production, la recherche d'information sur les



nouveaux produits et sur les nouveaux procédés, la récupération à la source de sous-produits, etc., peuvent être à l'origine d'aménagements aux procédés de production.

Les exemples les plus connus figurent dans le tableau 3-2 et entrent généralement dans les catégories suivantes:

- le remplacement d'un produit de lavage par une substance utilisable dans un autre procédé,
- la réduction de la contamination des eaux de lavage,
- la limitation du gaspillage des sous-produits,
- la récupération, avec réutilisation dans le procédé, de matières entraînées par les eaux de lavage ou les eaux de rinçage.

Tableau 3-2: Exemples d'aménagements aux procédés de production

AMÉNAGEMENTS AUX PROCÉDÉS	SECTEURS INDUSTRIELS (RÉFÉRENCES)
Employer un produit utilisable dans un autre procédé de production pour laver la vapeur.	<i>Industrie des fertilisants</i> : utilisation de l'acide nitrique pour laver la vapeur sortant des saturateurs; l'acide nitrique et la solution d'ammonitrates sont recyclés dans le procédé ⁽²⁾ .
Récupérer les premiers rinçages de certains appareils et les réintroduire dans le procédé.	<i>Production des adhésifs et du lait de consommation</i> : les premiers rinçages effectués avec un volume minimal d'eau, ont une composition compatible avec les matières premières. <i>Revêtement de surface</i> : installation de gicleurs au-dessus des baignoires de placage chauffé pour remplacer l'eau évaporée et recycler la solution de placage entraînée par les pièces.
Conserver un produit semi-transformé à la fin d'un cycle et l'utiliser au cycle suivant.	<i>Industries des fertilisants</i> : l'ajout d'équipements relativement simples permet de récupérer des contaminants dans l'air ou dans l'eau et de les recycler dans les procédés de production du nitrate d'ammonium, de l'urée et de l'acide phosphorique ⁽²⁾ .
Recueillir un sous-produit et le valoriser.	<i>Transformation des pommes de terre</i> : récupérer l'amidon et les protéines dans les eaux de procédé ^(9,10) . <i>Fromageries</i> : récupération de la crème, des protéines et du lactose dans le lactosérum ⁽¹¹⁾ . <i>Abattoirs</i> : récupération du sang des bovins pour l'alimentation humaine, récupération du sang des autres animaux pour l'alimentation animale; récupération des protéines dans les eaux de procédé pour l'alimentation animale. <i>Abattoirs</i> : récupération des plumes, des soies pour l'alimentation animale. <i>Abattoirs et salaisons</i> : récupération du gras pour l'alimentation animale. <i>Industrie du caoutchouc</i> : récupération et valorisation du chlorure de potassium en traitant l'effluent provenant d'un procédé de production de la 4-aminodiphénylamine tout en réduisant le débit des eaux à épurer de 80% et en diminuant la DCO de 98% ⁽²⁾ . <i>Industrie de la chimie organique</i> : la production du diisocyanate de toluène engendre un premier effluent qui est une solution de H ₂ SO ₄ diluée et un deuxième qui est une solution de HCl; le premier peut être concentré pour renvoyer au procédé une solution concentrée de H ₂ SO ₄ , le deuxième peut être électrolysé pour produire de l'hydrogène et du chlore qui sont également réutilisés dans le procédé ⁽⁶⁾ .
Extraire un sous-produit dans les eaux de lavage ou de rinçage et le valoriser.	<i>Production du bacon</i> : récupération par flottation à l'air dissous du gras entraîné par l'eau très chaude employée pour laver les courroies qui servent à transporter les tranches de bacon pendant leur pré-cuisson et vendre ce gras pour l'alimentation animale, la production de savons, etc. <i>Fromageries</i> : extraire des solutions de lavage des graisses et des protéines pendant la régénération de la solution caustique et les introduire dans un réacteur anaérobie pour produire du méthane. <i>Revêtement de surface</i> : récupération des métaux lourds dans les eaux de rinçage et les réintroduire dans les baignoires de placage ⁽¹⁾ . <i>Pâtes et papiers</i> : extraire les fibres de l'eau et les vendre à un fabricant de cartons ⁽¹⁾ .



3.4 LES PROCÉDÉS PROPRES

La plupart des entreprises qui se sont implantées dans le passé, tentent généralement de réduire leur consommation d'eau ou leur pollution en réalisant les opérations préliminaires adaptables ou en aménageant leurs procédés de production... puisque c'est moins coûteux que de reconstruire l'usine ou d'acquérir une technologie propre.

Ceux qui ont l'intention d'agrandir leurs installations, de moderniser leur système de production, d'introduire un nouveau procédé ou mieux encore de construire une nouvelle usine, devraient s'intéresser de près aux procédés propres puisque d'une part, la pollution sera considérablement réduite et d'autre part, il est plus économique à long terme de recourir à des procédés propres au lieu d'apporter des correctifs ultérieurement.

Il est donc important pour l'entreprise d'étudier à fond la situation, de vérifier ce qu'il est possible de changer dans le procédé de production, d'évaluer tous les impacts d'un procédé propre, etc, avant de faire un choix avec lequel elle devra vivre pendant de nombreuses années.

Dans le tableau 3-3 quelques exemples de procédés propres sont mentionnés et on les classe généralement dans les catégories suivantes:

- favoriser la suppression des effluents liquides,
- favoriser les procédés secs,
- réemployer les solutions de procédé,
- utiliser des produits moins polluants,
- utiliser des procédés moins polluants.

Tableau 3-3: Procédés propres

OBJECTIFS VISÉS	PROCÉDÉS PROPRES	SECTEURS INDUSTRIELS (RÉFÉRENCES)
FAVORISER LA SUPPRESSION DES EFFLUENTS LIQUIDES	<ul style="list-style-type: none"> · Procédé Gesa par voie sulfurique dans des réacteurs tubulaires. · Transport à sec sous vide. · Nitruration ionique. 	<p><i>Industrie des fertilisants:</i> le procédé utilise entièrement la chaleur de réaction lors de la production d'engrais NPK, permet d'obtenir des rendements très élevés et supprime totalement les effluents liquides ⁽²⁾.</p> <p><i>Industrie agro-alimentaire:</i> le transport à sec des viscères réduit la charge organique de plus de 70% dans les abattoirs de volaille ⁽¹⁾.</p> <p><i>Industrie du revêtement de surface:</i> cette technologie remplace le chromage et évite d'avoir un effluent à traiter ⁽¹²⁾.</p>
FAVORISER LES PROCÉDÉS SECS	<ul style="list-style-type: none"> · Utiliser de la peinture en poudre. · Utiliser un plasma pour recouvrir des pièces en métal ou en plastique. · Écorçage à sec 	<p><i>Industrie du revêtement de surface:</i> le procédé pour recouvrir la surface des objets est réalisé sans aucune utilisation d'eau ⁽¹³⁾.</p> <p><i>Industrie du revêtement de surface:</i> même observation que ci-dessus ⁽¹³⁾.</p> <p><i>Industrie des pâtes et papiers:</i> écorçage réalisé par des tambours ou par des couteaux ⁽⁴⁾.</p>
RÉEMPLOYER LES SOLUTIONS DE PROCÉDÉ	<ul style="list-style-type: none"> · Systèmes de nettoyage en place (NEP en français, CIP en anglais). · Procédé de régénération des solutions de nettoyage, c'est-à-dire les solutions alcalines et les solutions acides. · Instaurer un système pour récupérer les teintures-mères. · Instaurer un système pour récupérer les solutions de latex. 	<p><i>Industries agro-alimentaires:</i> plus précisément, les laïteries, les fromageries, les usines produisant des jus de fruits, les brasseries. L'installation d'un système de nettoyage en place c'est-à-dire laver sans démonter ou ouvrir les appareils, permet de faire circuler en circuit fermé les solutions de lavage basiques et acides; en rajustant leurs concentrations elles sont réutilisées pendant plusieurs jours.</p> <p><i>Industries agro-alimentaires:</i> notamment les fromageries; l'installation est semblable au système de nettoyage en place auquel on incorpore un dispositif pour régénérer la solution de lavage, celle-ci peut être réutilisée indéfiniment ou presque.</p> <p><i>Industrie du revêtement de surface:</i> il est possible de régénérer des solutions d'acide chlorhydrique et les solutions de nettoyage alcalines ⁽¹⁾.</p> <p><i>Industries textiles:</i> A la fin de chaque teinture, conserver les excédents de teintures-mères et les employer ultérieurement.</p> <p><i>Industries textiles:</i> à la fin du procédé de production des tapis, conserver l'excédent des solutions de latex et les employer lors de productions ultérieures.</p>



OBJECTIFS VISÉS	PROCÉDÉS PROPRES	SECTEURS INDUSTRIELS (RÉFÉRENCES)
UTILISER DES PRODUITS MOINS POLLUANTS	<ul style="list-style-type: none"> · Blanchir la pâte à papier en utilisant de l'oxygène ou du peroxyde d'hydrogène · Utiliser des détergents sans phosphate · Utiliser un bain de placage sans cyanure. · Remplacer des produits non biodégradables par des produits biodégradables 	<p><i>Industrie des pâtes et papiers:</i> remplacer le blanchiment des pâtes chimiques réalisé habituellement par le chlore en employant l'oxygène, le peroxyde d'hydrogène, l'ozone, etc. ⁽⁴⁾.</p> <p><i>Industries agro-alimentaires:</i> les fournisseurs offrent aux industries des détergents sans phosphate et l'acide phosphorique peut être remplacé par l'acide sulfamique.</p> <p><i>Industrie du revêtement de surface:</i> les solutions de cyanure de zinc peuvent être remplacées par des solutions de chlorure de zinc et les solutions de cyanure de cadmium remplacées par des solutions d'un sel double de sulfate de cadmium et d'ammonium, de fluoborate de cadmium ou de sulfate de cadmium acide ⁽¹³⁾.</p> <p><i>Industrie du caoutchouc:</i> les additifs, produits émulsifiants et stabilisants, biodégradables permettent de réduire la durée du rinçage, le débit des eaux usées a été diminué de 72%, la DCO de 82% et 90% des polluants sont biodégradables ⁽⁸⁾.</p>
UTILISER DES PROCÉDÉS MOINS POLLUANTS	<ul style="list-style-type: none"> · Produire la pâte à papier par le procédé thermo-mécanique (TMP). · Produire du jambon cuit par un procédé d'emballage sous-vide et de cuisson au bain-marie. 	<p><i>Industrie des pâtes et papiers:</i> le procédé TMP génère une DBO₅ globalement 4,5 fois moindre que le procédé traditionnel ⁽¹⁴⁾.</p> <p><i>Industrie agro-alimentaire:</i> les équipements offerts aux salaisons réduisent totalement les pertes de saumure par égouttement pendant l'étape de l'injection et du barratage; ils favorisent la réutilisation des eaux de cuisson et des solutions de refroidissement (saumures).</p>

CONCLUSION

Les chargés de projets doivent éveiller fréquemment la curiosité des industriels aux mesures anti-gaspillage ou réductrices de la pollution. Cependant, plusieurs ont seulement besoin d'encouragement et de bonnes références pour concrétiser des actions qu'ils hésitent à appliquer. Par ailleurs, nous rencontrons de plus en plus d'entreprises qui se voient offrir des procédés peu ou non-polluants, s'informent sur les technologies propres et cherchent à les implanter lorsqu'ils planifient la mise en place de nouveaux procédés de transformation. Par conséquent les représentants du ministère de l'Environnement et de la Faune doivent être à l'avant-garde des technologies propres et pouvoir conseiller les industriels.

Plus souvent qu'autrement l'économie est le meilleur argument pour convaincre les administrateurs d'entreprises d'implanter des mesures susceptibles de réduire la pollution. Tant mieux si la rentabilité de ces mesures se vérifie à court terme, toutefois dans la plupart des cas nos interlocuteurs devront accepter que les répercussions économiques positives se matérialisent quelques années après les aménagements aux procédés de production ou après l'installation des procédés propres.

Les exemples que nous avons mentionnés dans les tableaux 3.1, 3.2 et 3.3 ne sont pas les seuls qui ont fait leur preuve. En fait, nombreuses sont les entreprises qui ont posé rapidement des gestes simples et peu coûteux afin d'éliminer les polluants à la source et réduire le gaspillage dès qu'elles ont comptabilisé les économies qu'elles pouvaient réaliser.

Il faut aussi insister sur l'importance d'éviter le plus possible de générer une pollution qu'il faudra détruire ultérieurement. Fréquemment les traitements épurateurs ordinaires ont besoin d'être très performants pour que les effluents respectent les normes de rejet. L'installation et le fonctionnement des équipements épurateurs traditionnels sont généralement coûteux. De plus, l'élimination des sous-produits issus des traitements de dépollution est souvent onéreuse. Vue sous cet angle, l'épuration des effluents constitue un ajout à la liste des frais fixes de fonctionnement d'une usine.

Il est donc facile de comprendre, que tout bien calculé, l'intérêt pour les technologies propres devrait aller en s'accroissant. En effet, elles contribuent à augmenter la productivité, à réduire les coûts de traitement des effluents et d'élimination des sous-produits de l'épuration, à diminuer la pollution, à minimiser le gaspillage, à améliorer les conditions de travail et à revaloriser l'image de marque des entreprises.



BIBLIOGRAPHIE

- 1) MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE DU QUÉBEC, *"Produire sans polluer"*, Collection de fiches sur les technologies propres, 1988-1993.
- 2) RPA, *"Étude concernant les technologies propres dans l'industrie des fertilisants"*, Environnement et qualité de la vie, Commission des Communautés Européennes, 1985.
- 3) THOMPSON, H.W. & ESVELT, L.A., *"Reclamation and Reuse of fruit processing wastewater"* - American Society of Agricultural Engineers; Summer Meeting 1978, June 27-30.
- 4) MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE DU QUÉBEC, *"Guide technique sectoriel: Fabrication de pâtes et papiers"*, novembre 1995.
- 5) SARASWAT, N. AND KHANNA, P., *"Waste minimization in industry: issues and prospects"* - UNEP Industry and Environment, January, February & March 1989.
- 6) LALONDE, M., *"L'aluminerie Laterrière et la protection du milieu aquatique: vers une intégration harmonieuse"*, Sciences et techniques de l'eau, p. 145-150, mai 1991.
- 7) ANDELMAN, J.B., *"Organic water quality and other factors in poultry plant wastewater renovation and reuse"*, Water Res. vol. 18, n° 7, 843-853, 1984.
- 8) HULPKE, H. et MÜLLER-EISEN, U., *"Streamlining the production process"*, Environmental Engineering World, 21-22 January-February, 1995.



- 9) MEISTER, E. AND THOMPSON, N.R., *"Physical-Chemical methods for the recovery of protein from waste effluents of potato chip processing"*, J. Agric. Food Chem 24, 919-923, 1976.
- 10) VERBERNE, P., *"A new hydrocyclone process for the production of potato starch with lowest water production"*, Starch 29, 303-306, 1977.
- 11) VRIGNAUD, Y., *"Valorisation du lactosérum, une longue histoire"*, Revue Laitière Française (RLF), 422, 41-48.
- 12) GENIER, R., *"Vers une société moins polluante"*, Epure, n° 24, 12-16, 1989.
- 13) METALS AND PLASTICS PUBLICATIONS (Editeur), *"Metal finishing, Guidebook and Directory Issue"*, 1993.
- 14) THIBODEAU, J.C., *"Effets des nouvelles technologies de production sur les niveaux de pollution - étude de trois secteurs industriels"*, Direction des stratégies et politiques environnementales, mai 1989.

AUTRES RÉFÉRENCES

- RUSSEL, L. & COL., *"Water reuse and recycling in the Food Processing industry"*, Final Technical Report, 21 juillet 1983.
- LAW, I.B., *"Reuse, Recycling and Ressource Recovery in industrial applications"*, Water Science Technology, Vol. 18, 57-67, 1986.
- EVANS, D.R. & COL., *"Water reuse - Manuel of practice SM.3"*, Water Pollution Control Federation, 1989.



- GUJER, U., "*Waste minimization: a major concern of the chemical industry*", Water Science Technology, Vol. 24, n° 12, 43-56, 1991.
- BROSKY, D.L., "*Pollution prevention: part of your waste management program*", Water Science Technology, Vol. 26, n° 1-2, 289-299, 1992.
- DINI, J.W. & STEFFANI, C.P., "*Waste minimization in a non-production oriented metal finishing operation*", 13th AESF/EPA Conference on Environmental Control, 1992.



CHAPITRE 4

QUANTIFICATION DES CHARGES POLLUANTES

Ce chapitre traite des différentes données nécessaires à la quantification des charges polluantes des industries. Il y est question des mesures de débit, des paramètres physico-chimiques et microbiologiques indicateurs de pollution, des différents éléments d'un devis de caractérisation et, en dernier lieu, du calcul des charges polluantes.

4.1 DÉBIT DES EFFLUENTS

Cette section explique brièvement les mesures de débit des effluents industriels. Bien qu'il existe plusieurs façons d'exprimer le débit d'un effluent industriel, on s'attarde sur les deux types de mesures les plus courants qui permettent d'obtenir le débit instantané et le débit continu.

4.1.1 Débit instantané

Des mesures de débit instantané ou ponctuel sont des mesures effectuées à un moment précis dans le temps et couvrent une période très courte (quelques minutes). Elles ne sont donc représentatives que de l'instant où elles furent réalisées.



La mesure ponctuelle sert essentiellement à:

- vérifier l'étalonnage de certains ouvrages hydrauliques (ex: pompes, canaux de mesure);
- établir le débit d'un effluent égalisé (ex: effluent d'un étang d'aération);
- établir de façon rapide mais sommaire le volume d'un écoulement;
- déterminer les dimensions de certains ouvrages tels que: une station de pompage, une unité de traitement, un dimensionnement de conduites, etc.

Les méthodes de mesure généralement utilisées pour déterminer le débit instantané sont:

- la méthode volumétrique;
- la méthode de dilution;
- la méthode hauteur/vitesse;
- la lecture ponctuelle de la hauteur d'eau dans un élément primaire de mesure déjà en place (pour plus d'information voir le paragraphe 7.2.4 de ce guide);
- la lecture ponctuelle de la hauteur d'eau à l'aide d'un déversoir combiné portatif à insertion;
- la méthode de la "conduite de Californie".

4.1.2 Mesure de débit en continu

Des mesures de débit en continu sont un ensemble de mesures ponctuelles effectuées à des intervalles de temps très rapprochés (quelques secondes) par des appareils capables d'enregistrer tout au long de l'événement, les valeurs obtenues. L'enregistrement de ces nombreuses mesures couvre une période de temps préalablement établie (quelques heures à plusieurs jours) et fait ressortir toutes les variations de débit survenues au cours de la dite période. L'information obtenue est donc plus complète.

Bien que certaines méthodes de mesure mentionnées dans le paragraphe 4.1.1 soient utilisables, la mesure du débit en continu nécessite généralement la mise en place, sur une base temporaire ou permanente, d'un élément primaire de mesure. Ce genre d'élément est décrit au chapitre 7, paragraphe 7.2.4.

4.1.2.1 Débit horaire moyen

Le débit horaire moyen est la moyenne des mesures de débits ponctuels au cours d'une période de 60 minutes.

4.1.2.2 Débit journalier

Le débit journalier exprime le débit total d'un effluent mesuré durant une période de 24 heures. Il est utile de connaître la variation horaire du débit d'un effluent afin de prévoir les chocs hydrauliques aux ouvrages d'assainissement. En effet, il est parfois nécessaire de régulariser le débit d'un effluent industriel en installant un bassin d'égalisation comme on l'explique au chapitre 7, paragraphe 7.2.2.



4.2 PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES INDICATEURS DE POLLUTION

Cette section traite des différents paramètres physico-chimiques indicateurs de pollution utilisés pour caractériser des eaux usées industrielles.

4.2.1 pH

En milieu aqueux, on peut décrire la dissociation de l'eau selon l'équation chimique suivante:



En appliquant la loi d'action des masses à cet équilibre chimique on obtient l'équation suivante:

$$K_{\text{eau}} = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]}$$

La concentration de l'eau dans une solution aqueuse est généralement constante. On peut simplifier l'équation précédente et l'écrire de la façon suivante:

$$K_{\text{eau}} = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-14} \text{ à } 25^\circ\text{C}$$

Les solutions aqueuses sont en partie caractérisées par leur pH. Celui-ci est défini par l'équation:

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+]$$

Un pH inférieur à 7 est synonyme d'un milieu acide et un pH supérieur à 7 correspond à un milieu basique. La concentration en ions hydrogènes est un paramètre important qui influence la qualité de l'eau. L'activité biologique ne peut exister que dans une fourchette étroite de pH. La valeur du pH d'un effluent industriel joue un rôle important dans l'altération et la dissolution des minéraux.

À titre d'exemple, un système de traitement biologique des eaux usées opère de façon optimale lorsque le pH se situe entre 6,5 et 7,5. L'acclimatation des bactéries permet d'élargir cette fourchette.

Certains métaux peuvent être solubles à un certain pH, tandis qu'ils précipiteront sous forme d'hydroxydes ou de carbonates à des pH différents. Leur toxicité est fortement liée à leur état chimique. C'est la forme métallique des métaux qui est la plus toxique pour les organismes aquatiques. En effet, sous cette forme, ils peuvent traverser les différentes membranes épithéliales des organismes biologiques⁽¹⁾.

Le pH peut être mesuré et enregistré sur une base continue pendant l'échantillonnage d'un effluent industriel, durant les opérations courantes d'une industrie ou, à l'occasion, être mesuré de façon instantanée.

De nombreuses activités industrielles génèrent des effluents industriels ne satisfaisant pas aux normes de rejet en matière de pH avant traitement. Les activités industrielles ayant des problèmes majeurs⁽²⁾ sont: la fabrication et le montage d'automobiles, l'industrie chimique, les cokeries, le traitement des minerais, les parcs à résidus miniers, les industries des pâtes et papiers. À un niveau moindre, les industries de l'aluminium, du pétrole, de l'acier et du textile peuvent avoir des problèmes de pH. Dans le domaine alimentaire, il faut retenir les usines de transformation du lait, les charcuteries, les brasseries qui génèrent des pointes de pH lors des opérations de nettoyage.

À titre d'information, le tableau 4-1 montre des valeurs de pH reliées à différentes activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.



Tableau 4-1: Valeurs de pH dues à certaines activités industrielles⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	pH
Liqueur usée de décalaminage (H ₂ SO ₄)	1,3
Liqueur usée de décalaminage (HCl)	0,1
Eaux de rinçage de décalaminage de l'acier (HCl)	3,2
Liqueur usée de bain de placage au cuivre	0,2
Eaux de rinçage de placage au cuivre	2,5
Eaux de rinçage de placage	1,0-1,3
Eaux de rinçage de placage au chrome	2,0-2,5
Eaux de rinçage de placage au nickel	7,4
Eaux de rinçage de circuits imprimés	5,2
Bain de nettoyage alcalin	12,5
Solution de gravure à l'eau forte sur aluminium	13,3-13,8
Solution de bain d'anodisation à l'aluminium	0,55
Eaux de lavage, placage et rinçage de procédés d'anodisation à l'aluminium	1,7
Eaux de rinçage de procédé d'anodisation à l'aluminium	7,1-10,6
Effluent d'usines de chlore-alcali	11,5-11,8
Fabrication de pigments de chrome	1-3
Fabrication de pigments de chrome	7,9-8,2
Fabrication de sulfate de cuivre	3,0-3,3
Production d'acide fluorhydrique	3,1
Fabrication de sulfate de nickel	2,1-7,3
Fabrication d'accumulateurs au plomb (seconde fusion)	1,4
Extraction du minerai aurifère	11,7
Effluent de cokerie	8,6-12,0
Eaux de lixiviation acide de charbon	2,3

4.2.2 Demande biochimique en oxygène

On peut définir la demande biochimique en oxygène comme la quantité d'oxygène consommée par les microorganismes aérobies, présents ou introduits dans un échantillon d'eau usée, au cours d'une période donnée pendant la dégradation des composés biodégradables⁽³⁾. Elle peut être exprimée de diverses façons. La DBO₅ pour la demande biochimique en oxygène pendant 5 jours, la DBO₂₀ pour la demande biochimique en oxygène pendant 20 jours ou DBO_{ultime}, la DBO_C pour

la demande biochimique en oxygène carbonée. Ces différentes mesures de demande biochimique en oxygène sont faites en absence de lumière à une température de 20°C. Ces différents paramètres peuvent être exprimés sous la forme filtrée ou non-filtrée.

La figure 4-1 illustre les différents phénomènes qui déterminent la demande biochimique en oxygène pour un effluent "idéal".

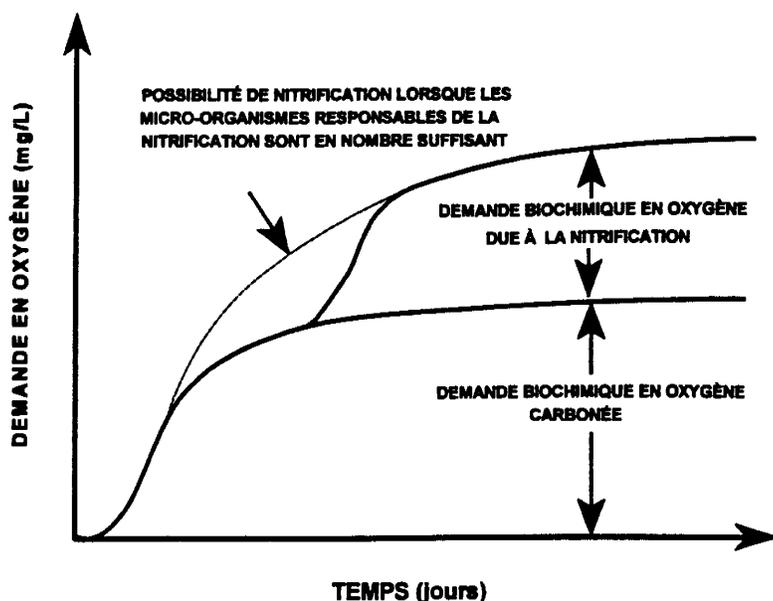


Figure 4-1: Demande biochimique en oxygène en fonction du temps⁽⁴⁾

Pour des effluents contenant des substances inhibitrices (substances généralement toxiques pour les bactéries), la courbe sera différente. L'absence de nutriments nécessaires à la croissance bactérienne ainsi que la température de l'effluent peut aussi l'influencer. Le tableau 4-2 indique pour certaines substances chimiques la concentration susceptible d'inhiber l'activité biologique des bactéries.

**Tableau 4-2: Concentrations (en mg/l) de polluants provoquant
l'inhibition des procédés biologiques⁽⁵⁾**

POLLUANTS	PROCÉDÉS BIOLOGIQUES			
	Boues activées	Nitrification	Cultures fixées	Digestion anaérobie
Inorganiques:				
Ammoniaque	≥ 480	—	—	1 500-3 000
Arsenic	0,04-0,4	—	290	0,1-1
Bore	0,05-10	—	—	2
Cadmium	0,5-10	5-9	5-20	0,02-1
Calcium	2 500	—	—	—
Chlorures	—	180	—	20 000
Chrome (total)	0,1-20	0,25-1	50	1,5-50
Cuivre	0,1-1	0,05-0,5	25-50	0,5-100
Cyanures	0,05-20	0,3-20	—	0,10-4
Iode	10	—	—	—
Fer	5-500	—	—	5
Plomb	0,1-10	0,5-1,7	—	50-250
Manganèse	10	—	—	—
Magnésium	—	50	—	1 000
Mercure	0,1-5,0	2-12,5	—	1 400
Nickel	1-5	0,25-5	—	2-200
Argent	0,03-5	0,25	—	—
Sodium	—	—	—	3 500
Sulfures	>50	—	—	50-100
Étain	—	—	—	9
Vanadium	20	—	—	—
Zinc	0,30-20	0,01-1	—	1-10
Organiques:				
Pesticides communs	0,05-0,10	—	—	—
Lindane	5-10	—	—	—
Composés aromatiques	5-150	—	—	100-870
Chlorobenzènes	0,1-5	—	—	0,1-1
Composés aliphatiques halogénés	150-250	—	—	0,1-100
Composés azotés	1-500	0,1-100	—	5-500
Composés oxygénés	120-500	—	—	20-1 000
Alcools	1 000	—	—	—
Composés oxygénés acides	—	—	—	10
Phénols	90-1 000	1-10	—	100-200
Chlorophénols	5-100	—	—	0,2-100
Nitrophénols	50-200	150	—	100
Méthylphénols	—	5-50	—	—
Phtalates	>10	—	—	—
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	500-2 500	—	—	—

—: Non disponible

ii. Transformation des cyanates en azote:

Si à un excès de chlore on ajoute un excès d'hydroxyde de sodium, on obtient une oxydation complète des cyanates et l'équation de la réaction s'écrit ainsi:



En additionnant les équations (7-19) et (7-21) ci-dessus on obtient:



La comparaison des équations (7-19) et (7-22) montre immédiatement que l'oxydation poussée à son maximum consomme deux fois et demi plus de chlore et d'hydroxyde de sodium pour la même quantité de cyanure. On comprend donc qu'en pratique on se limite à la formation de cyanates d'autant plus que leur toxicité est pratiquement nulle.

b) Oxydation par l'hypochlorite de sodium^(7,14)

i. Formation des cyanates:

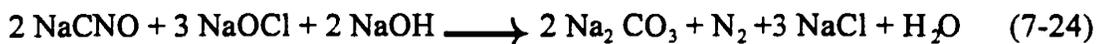
La réaction donne les mêmes produits que ci-dessus (7-19):



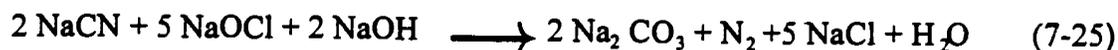
Il faut maintenir le pH > 11 pour que la réaction soit rapide et que le chlorure de cyanogène soit hydrolysé; de l'hydroxyde de sodium est donc ajouté.

ii. Transformation des cyanates en azote

En utilisant un excès d'hypochlorite de sodium, avec ajout d'hydroxyde de sodium, on obtient:



Les deux équations (7-23) et (7-24) additionnées donnent:

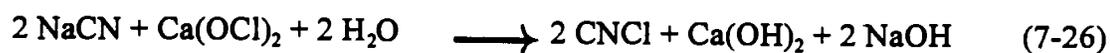


Remarque: l'oxydation des produits cyanurés par l'hypochlorite de sodium est généralement le procédé le plus approprié pour les entreprises qui procèdent au traitement de surface (risques faibles pour la sécurité et la santé du personnel, oxydation efficace, coûts modérés si l'oxydation ne dépasse pas le stade des cyanates, etc.).

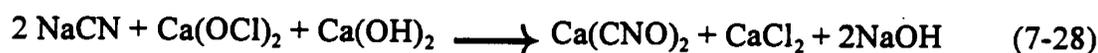
c) Oxydation par l'hypochlorite de calcium⁽¹³⁾

i. Formation des cyanates:

L'obtention des cyanates se fait en deux étapes selon les équations (7-26) et (7-27):



globalement:



L'équation (7-28) montre donc qu'il faut ajouter non seulement de l'hypochlorite de calcium mais aussi de l'hydroxyde de calcium. La réaction (7-27) est d'autant plus rapide que le pH est élevé; à un pH entre 10 et 11, la formation des cyanates se produit en 5 ou 7 minutes.

Un effluent industriel ayant de fortes demandes biochimiques en oxygène peut avoir un impact important sur les organismes aquatiques présents dans un cours d'eau. La consommation de l'oxygène dissous lors de la dégradation microbologique de la charge organique d'un effluent peut conduire à des phénomènes d'anoxie et de mortalité importante des poissons. La présence d'oxygène dissous liée à l'arrêt à un niveau acceptable des rejets ou à leur contrôle et la capacité auto-épuratrice des cours d'eau font qu'il sera possible de récupérer les usages liés à la faune aquatique.

4.2.2.1 Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO₅) est le paramètre le plus utilisé pour caractériser un effluent liquide. Malgré le fait que l'utilisation de ce paramètre comporte de nombreuses lacunes, il n'en demeure pas moins qu'il est utile aux nombreuses étapes de conception et de contrôle dans le domaine de l'assainissement des eaux.

Ces étapes sont:

- la détermination de la quantité d'oxygène requise pour stabiliser biologiquement la matière organique;
- la détermination de la dimension des équipements de traitement biologique des eaux usées;
- la détermination de l'efficacité du système de traitement des eaux usées.

En général, la mesure de la DBO₅ correspond à la dégradation de 60 à 70%⁽³⁾ des matières biodégradables à 20°C. Ce pourcentage est basé sur un effluent de type municipal.



La précision de cette mesure est difficile à déterminer, compte tenu du nombre de paramètres et de phénomènes qui entrent en jeu.

Le laboratoire du ministère de l'Environnement et de la Faune utilise deux procédures de contrôle pour la détermination de la DBO_5 d'une eau usée. La première procédure consiste à déterminer la DBO_5 de deux solutions. Ces solutions sont des standards d'acide glutamique (A) et de glucose (B). En théorie, la quantité d'oxygène requise pour oxyder complètement ces solutions est de 60 mg/l de O_2 et de 300 mg/l de O_2 respectivement. La demande biochimique en oxygène après 5 jours devrait être de 40 ± 7 mg/l de O_2 et 198 ± 30 mg/l de O_2 pour chacune des solutions. Ces standards sont analysés chaque fois que des échantillons sont dosés. Deux graphiques sont tracés à partir des valeurs des concentrations des solutions A et B. Le premier graphique exprime la somme des concentrations A et B et le deuxième graphique exprime la différence des concentrations A et B. Si un résultat dépasse les limites fixées (3 fois la déviation standard), les analyses sont reprises.

La deuxième procédure de contrôle est l'analyse d'échantillon de référence provenant de divers organismes environnementaux tels que EPA ou autres. Si la valeur trouvée dépasse l'intervalle fourni, des actions sont prises pour corriger les problèmes analytiques.

4.2.2.2 Demande biochimique en oxygène pendant 20 jours

La demande biochimique en oxygène pendant 20 jours est la quantité d'oxygène requise pour oxyder la matière organique carbonée. La DBO_{20} est aussi considérée comme la demande biochimique en oxygène ultime. Cette valeur correspond à la dégradation de 95 à 99%⁽³⁾ des matières oxydables. Ce pourcentage est basé sur un effluent de type municipal.

Pour des considérations pratiques, plus précisément les horaires de travail du personnel du laboratoire (MEF), la période d'analyse est prolongée d'une journée. Le résultat obtenu est donc la DBO_{21} .

4.2.2.3 Demande biochimique en oxygène carbonée (DBO_c)

On peut déterminer une demande biochimique en oxygène carbonée, avec l'ajout d'un inhibiteur de croissance des bactéries responsables de la nitrification ou par un prétraitement approprié.

L'utilité de ce paramètre est discutable dans le contexte québécois. En effet, la nitrification d'un effluent s'effectue à des températures variant entre 4 et 50°C et surtout dans la fourchette de 30 à 36°C. En général, ces températures sont rarement atteintes et maintenues dans les réacteurs biologiques et dans les cours d'eau au Québec.

4.2.2.4 Demande biochimique en oxygène filtrée

Il peut arriver que les trois paramètres qui ont été décrits ci-dessus soient également exprimés sous la forme $DBO_{filtrée}$. L'utilité de ces mesures est de déterminer la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder uniquement les matières organiques solubles. La comparaison des différentes valeurs de $DBO_{filtrée}$ et $DBO_{non-filtrée}$ permet de déterminer la pertinence d'utiliser des moyens mécaniques pour enlever la matière organique oxydable non-soluble dans un effluent. Cette dernière est due aux matières en suspension contenues dans un effluent.

4.2.3 Demande chimique en oxygène

La demande chimique en oxygène (DCO) est une analyse de laboratoire utilisée comme indice du contenu des matières oxydables dans une eau usée. Cette analyse utilise un composé chimique fortement oxydant. En général, 95 à 100%⁽³⁾



de la matière organique peut être oxydée par cette méthode. Certains composés inorganiques peuvent causer des interférences. Il est donc nécessaire de neutraliser préalablement ces composés avant l'analyse⁽³⁾. La mesure de la demande chimique en oxygène est utile pour déterminer la pollution relative d'un effluent industriel contenant des matières organiques. Pour une eau usée donnée, la DCO est toujours plus élevée que la DBO₅. Pour plusieurs types d'effluents industriels, il est possible d'établir une corrélation entre la demande chimique en oxygène et la demande biochimique en oxygène pendant 5 jours. L'avantage d'établir ces corrélations est la diminution du temps d'analyse en utilisant la détermination de la DCO au lieu de la DBO₅ (3 heures par rapport à 5 jours) et la rétroaction rapide qui peut être effectuée lors de l'opération de systèmes de traitement du type biologique.

Tout comme la DBO_{filtrée}, il existe aussi la demande chimique en oxygène filtrée. L'utilité de cette mesure, est de déterminer la demande chimique en oxygène pour oxyder les matières oxydables solubles.

4.2.4 Matières en suspension

Il existe près d'une dizaine de façons d'exprimer la concentration des matières en suspension dans une eau usée. Voici les quatre paramètres les plus utilisés dans le domaine de l'assainissement des eaux:

- Matières en suspension (MES);
- Matières volatiles en suspension (MVES);
- Solides totaux (ST);
- Solides volatils totaux (SVT).

4.2.4.1 Matières en suspension

Les matières en suspension (MES) contenues dans une eau usée sont constituées des matières résiduelles retenues par un filtre dont le diamètre moyen des pores est de 1,2 µm et après les avoir maintenu à 103°C-105°C pour évaporer l'eau^(3,4).

4.2.4.2 Matières volatiles en suspension

Les matières volatiles en suspension (MVES) contenues dans une eau usée sont définies comme étant la différence entre les matières en suspension et les matières résiduelles obtenues après avoir placé le filtre dans un four maintenu à une température de $550 \pm 50^{\circ}\text{C}$. On peut considérer que les MVES constituent la fraction organique des matières en suspension^(3,4).

4.2.4.3 Solides totaux

Les solides totaux (ST) contenus dans un échantillon correspondent à la matière résiduelle présente après l'évaporation complète de l'eau, l'échantillon étant maintenu à une température variant entre 103 et 105°C . Les solides totaux peuvent être divisés en non-filtrables ou filtrables. La fraction filtrable comprend des solides dissous et des solides colloïdaux^(3,4).

4.2.4.4 Solides volatils totaux

Les solides volatils totaux (SVT) contenus dans une eau usée sont définis comme étant la différence entre les solides totaux et la matière résiduelle présente après avoir placé l'échantillon déshydraté dans un four maintenu à une température de $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$. On peut assimiler la fraction organique des solides en suspension aux solides en suspension volatils et la fraction inorganique des solides en suspension aux solides en suspension fixés^(3,4).

La figure 4-2 illustre les différentes manipulations requises en laboratoire pour obtenir les valeurs de ces divers paramètres.



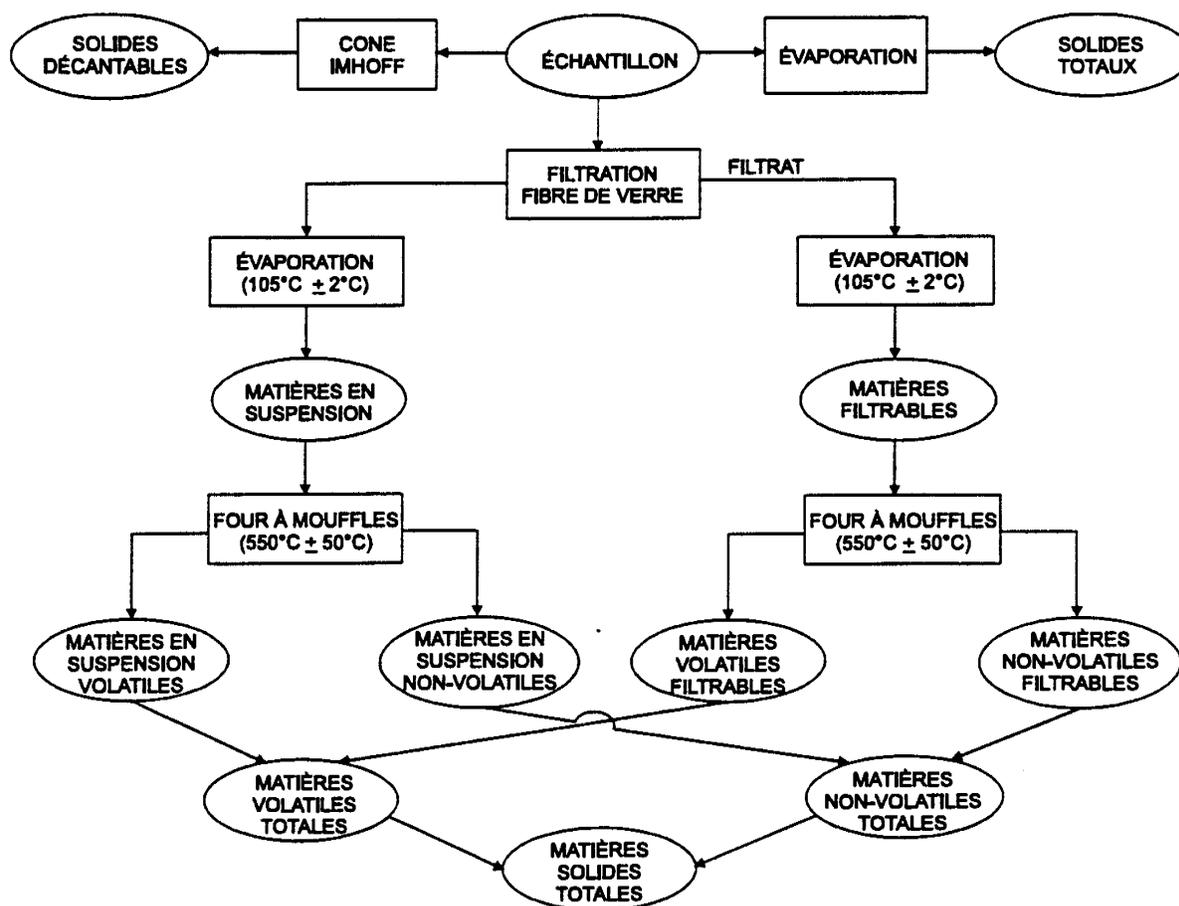


Figure 4-2: Étapes de traitement pour obtenir les différents paramètres exprimant les matières en suspension et les solides totaux⁽⁴⁾

Ces paramètres peuvent être établis pour des échantillons instantanés ou composés. Les solides décantables sont mesurés à l'aide d'un cône Imhoff maintenu dans des conditions parfaitement tranquilles pendant 30 minutes. Ils peuvent aider les concepteurs à faire un choix quant à la pertinence d'installer un système de décantation primaire.

La figure 4-3 indique les dimensions de certains constituants organiques que l'on peut retrouver dans une eau usée de type urbain.

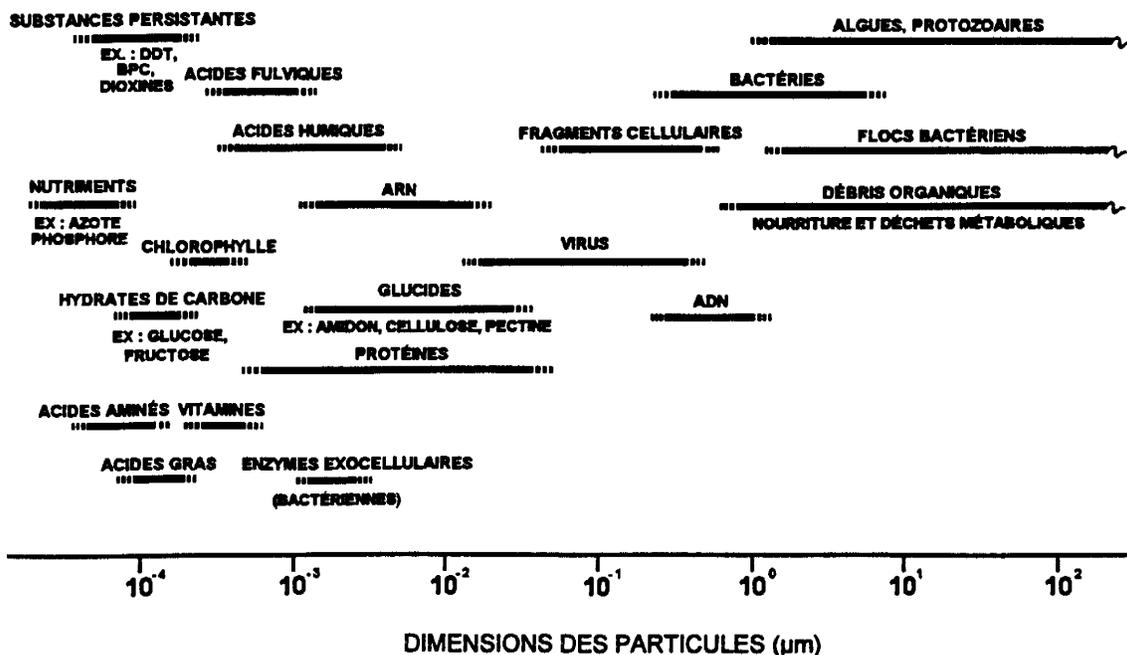


Figure 4-3: Dimensions de certains constituants organiques dans une eau usée^(4,6)

4.2.4.5 Impact sur l'environnement

Les effluents industriels chargés de matières en suspension peuvent avoir un impact important sur les écosystèmes aquatiques. D'une part, elles peuvent colmater les branchies des poissons, et d'autre part, elles augmentent la turbidité de l'eau. Ceci a pour effet de diminuer la pénétration de la lumière nécessaire à la photosynthèse. Il en découle une diminution de la nourriture (plancton, phytoplancton, etc.). Les dépôts benthiques peuvent avoir un impact négatif important sur les zones de reproduction par le colmatage des frayères⁽⁷⁾.

4.2.5 Composés azotés

L'azote se trouve sous différentes formes chimiques dans les eaux usées et on a recours à des méthodes analytiques spécifiques pour déterminer leurs concentrations. Cette section explique donc les divers mécanismes de transformation de l'azote dans l'environnement, les quatre principales formes chimiques des composés azotés et les différentes manières de mesurer la concentration de ceux-ci dans un effluent.

La figure 4-4 illustre de façon simplifiée le cycle de l'azote en milieu aqueux.

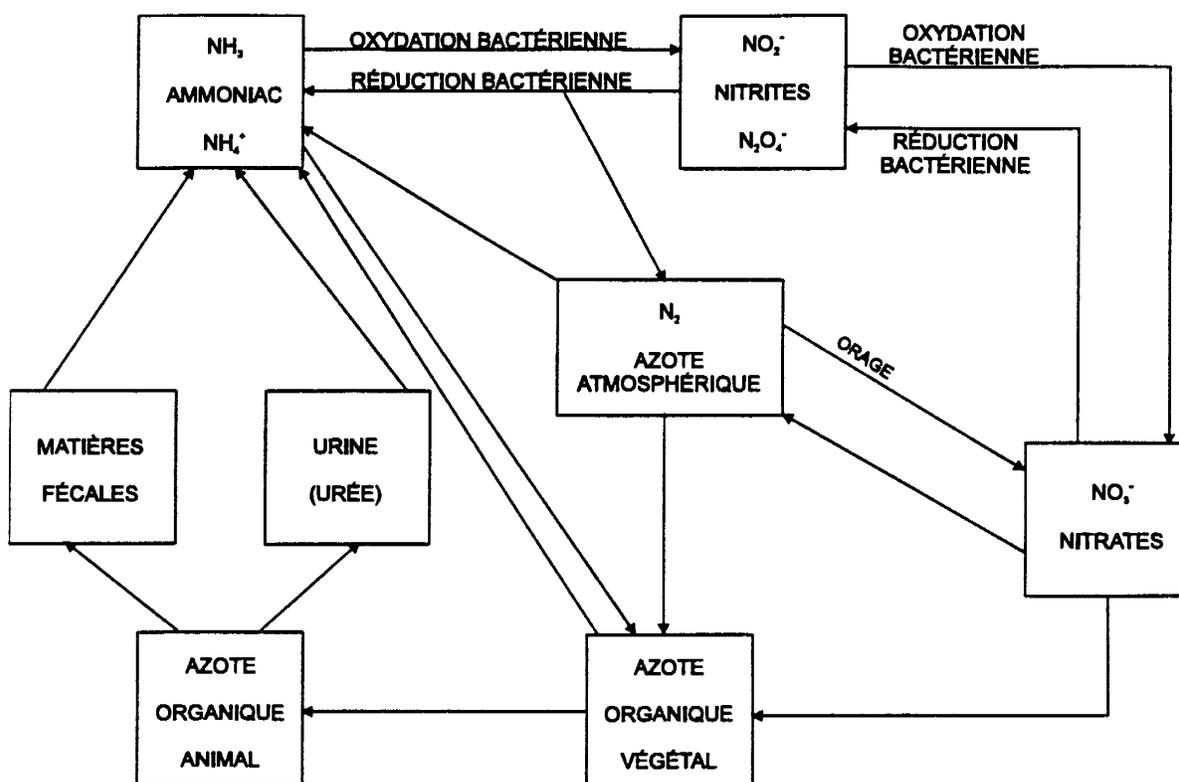


Figure 4-4: Cycle simplifié de l'azote⁽⁸⁾

L'azote se trouve sous différentes formes chimiques, du fait que ses degrés d'oxydation varient de -3 à +5.

-3	0	+3	+5
NH ₃ /NH ₄ ⁺	N ₂	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻

Leur formation est régie par de nombreuses réactions chimiques produites par l'activité de certains microorganismes ainsi que par le pH. Ces réactions sont la fixation, l'ammonisation, l'assimilation, la nitrification et la dénitrification⁽⁸⁾.

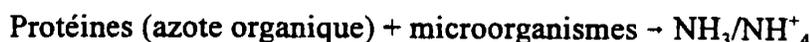
Fixation

La fixation de l'azote atmosphérique peut être effectuée par des microorganismes spécialisés, des plantes et certains animaux. Les éclairs durant un orage peuvent contribuer à fixer l'azote. Les industries des fertilisants et des explosifs sont parmi les principaux utilisateurs de matières premières à base d'azote.

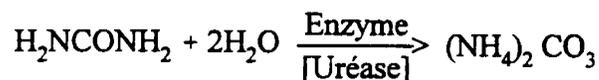
Ammonisation

L'ammonisation consiste en une transformation de l'azote organique en azote ammoniacal. L'azote organique provient de protéines contenues dans les animaux morts, les fibres des plantes en décomposition et les matières fécales.

On peut résumer le phénomène d'ammonisation par l'équation suivante:

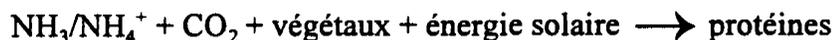


L'azote présent dans l'urine subit aussi une ammonisation. Toutefois, le phénomène de transformation en azote ammoniacal est différent. L'urée est hydrolysée par un enzyme, l'uréase. L'équation ci-dessous symbolise l'ammonisation de l'urée:



Assimilation

L'assimilation de composés azotés, sous la forme ammoniacale et sous la forme de nitrates par les végétaux pour former des protéines, suit le même processus. Les équations suivantes illustrent les phénomènes en jeu:



Nitrification

La nitrification est le phénomène d'oxydation biologique de l'azote ammoniacal. En condition aérobie, des bactéries du genre *Nitrosomonas* convertissent d'abord l'azote ammoniacal en nitrite puis les nitrites sont à leur tour oxydés en nitrates par des bactéries du genre *Nitrobacter*.

Étant donné l'importance de la nitrification dans l'évaluation des besoins en oxygène des traitements par boues activées, des explications supplémentaires peuvent être trouvées au paragraphe 7.5.1. Elles révèlent pourquoi il faut fournir 4,57 mg d'oxygène pour oxyder 1 mg d'azote ammoniacal.

Dénitrification

La dénitrification est le phénomène de réduction biologique des nitrates produit pendant la nitrification. Dans une première phase, les nitrates disponibles sont réduits en nitrites, qui par la suite sont transformés en azote gazeux.

En condition anoxique (absence d'oxygène), des bactéries du genre *Achromobacter*, *Aérobacter*, *Alcaligènes*, *Bacillus*, *Brevibactérium*, *Flavoliatérium*, *Lactobacillus*, *Microconus*, *Proteus*, *Pseudomonas* et *Spirillum* transforment en deux étapes les nitrates disponibles en azote gazeux.

La figure 4-5 illustre les différents phénomènes de biotransformation de l'azote présent dans un cours d'eau.

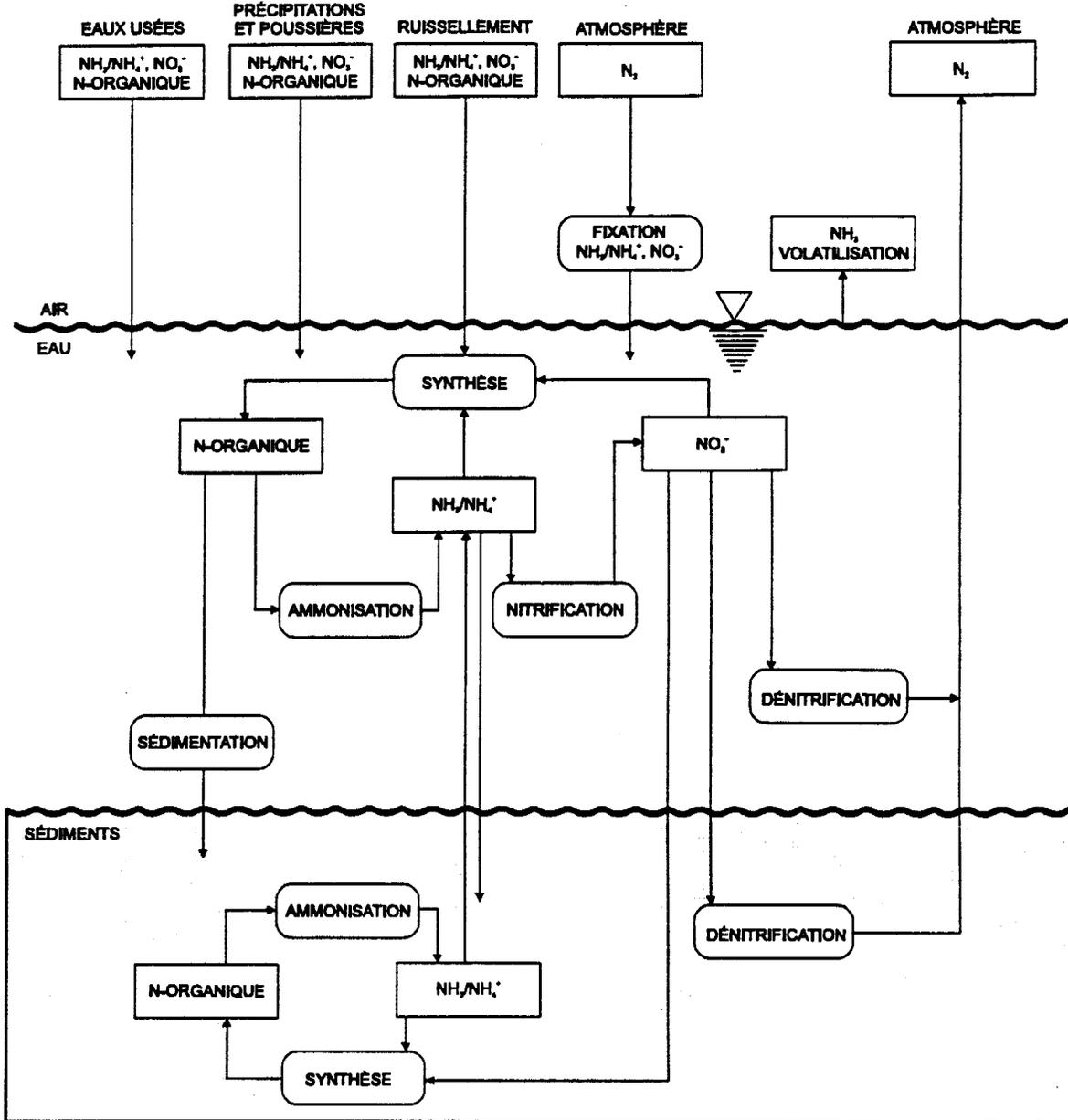
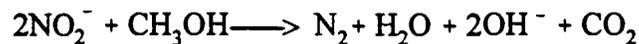
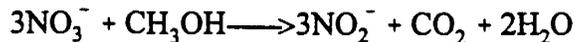


Figure 4-5: Cycle de l'azote dans un cours d'eau⁽⁸⁾



D'une façon simplifiée, on peut décrire les transformations chimiques des nitrates en azote gazeux par ces deux équations:



N.B.: Dans ces équations, CH_3OH (le méthanol) symbolise une matière carbonée, cependant la source de carbone peut être de toute autre nature. Dans les eaux usées industrielles, les substances carbonées biodégradables sont généralement présentes.

4.2.5.1 Azote total

L'azote total est constitué des différentes formes chimiques de l'azote retrouvées dans la nature. Ces formes sont: l'azote organique provenant des plantes et des animaux, l'ammoniacque, les nitrites et les nitrates.

Azote organique (N-org.)

L'azote organique provient de l'urée, de l'acide muramique, de sucres aminés, de l'acide urique, d'amines aliphatiques et de bases organiques. Certaines industries rejettent des composés azotés organiques qui sont très résistants au traitement biologique. Ces composés sont: la pectine, la chitine et des composés ammoniacaux quaternaires. Les sources agricoles et industrielles sont: les fumiers en général, les abattoirs, les raffineries de sucre, les industries du textile, les purges de chaudières et les industries pharmaceutiques⁽⁷⁾.

Azote ammoniacal (N-NH₄⁺)

L'azote ammoniacal, que nous retrouvons dans les eaux usées, est surtout généré par différentes activités industrielles telles que: les industries sidérurgiques, le raffinage du pétrole, les industries des fertilisants, les industries de la chimie inorganique, les industries des ferro-alliages, les industries du verre, les abattoirs,

les industries de la transformation de la viande et des aliments. Il est généré comme sous-produit par les différents procédés de transformation dans les industries sidérurgiques, les industries du ferromanganèse et certaines industries alimentaires (industries des produits carnés). L'azote ammoniacal peut être employé comme produit chimique dans les différentes étapes de transformation pour le trempage du verre. Il peut être présent à de faibles concentrations dans les effluents de tannerie, dans les usines de transformation des oeufs et dans les déchets métaboliques d'animaux^(2,7). La concentration en azote ammoniacal peut augmenter rapidement s'il y a stagnation de ces eaux puisque l'azote organique se transforme en azote ammoniacal comme le montrent les figures 4-4 et 4-5.

À titre d'information, le tableau 4-3 fournit des fourchettes de concentrations en azote ammoniacal dans les effluents dus à certaines activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Tableau 4-3: Concentrations en azote ammoniacal dans les effluents pour différentes activités industrielles (effluent final)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Raffinerie de pétrole	0,14-13,0
Fabrication d'explosifs	285-725
Affinage du zinc	2,4-2,8
Usine de traitement de surface-galvanisation	6,2-9,5
Usine de produits chimiques organiques (herbicides, résine de polymère)	1,7-21,0
Usine de fabrication de pièces aéronautiques (traitement de surface)	5,5-6,1
Usine de produits chimiques organiques (adhésifs, etc.)	44,3-59,5
Usine pétrochimique de produits de synthèse	9,7-14,5
Production de pigments de titane	1,7-2,5
Transformation de produits d'aluminium	0,75-5,8
Effluent final d'une charcuterie	11-18



La concentration naturelle de l'azote ammoniacal dans les eaux douces naturelles se situe aux environs de 0,1 mg/l.

Au niveau écotoxicologique l'azote ammoniacal sous forme d'ammoniac non-ionisé (NH_3) est toxique pour les poissons et les autres organismes aquatiques. La présence d'ammoniac non-ionisé est régie par la température et le pH en milieu aqueux. La force ionique et les matières solides dissoutes ont une influence moindre sur la présence d'ammoniac non-ionisé en milieu aqueux⁽⁷⁾.

Nitrites et nitrates (NO_2^- et NO_3^-)

Plusieurs activités industrielles génèrent des eaux usées fortement chargées en nitrites et nitrates. Ces secteurs industriels sont: les fabriques de fertilisants et de produits pour l'agriculture, les industries sidérurgiques, la fabrication de munitions, la transformation du porc et de la volaille, la fabrication de composantes électroniques, la fabrication de combustible nucléaire à base d'oxyde d'uranium^(2,7).

À titre d'information, le tableau 4-4 montre des fourchettes de concentrations en nitrites-nitrates dans les effluents dus à certaines activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'étude.

Tableau 4-4: Concentrations en nitrates-nitrites dans les effluents pour différentes activités industrielles (effluent final)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Raffinerie de pétrole	0,74-3,2
Fabrication d'explosifs	1,1-5,5
Usine de fabrication de produits chimiques organiques (pesticides, résines de polymère, etc.)	1,7-3,8
Traitement de surface	0,7-3,2
Aluminerie	1,0-13,0
Effluent de mine	3,0-6,6

La concentration des nitrates dans les eaux douces naturelles se situe aux environs de 1 mg/l. On peut observer une concentration du même ordre de grandeur pour les nitrites⁽⁷⁾.

Du point de vue toxicité humaine, les nitrites et indirectement les nitrates peuvent produire une manifestation toxique importante chez les enfants de moins de 6 mois et chez certains sujets hypersensibles. On observe une méthémoglobinémie, soit une diminution de la capacité de transport de l'oxygène par l'hémoglobine causée par l'oxydation de cette dernière par les nitrites. Les conséquences peuvent être la mort par suffocation⁽⁹⁾. D'autre part, les nitrites, en présence de composés à base d'amines, peuvent produire des nitroamines dont certaines sont considérées comme étant des cancérogènes probables pour les êtres humains, classification 2A de l'IARC⁽¹⁰⁾.

Au niveau écotoxicologique, les nitrites sont considérés toxiques pour les organismes aquatiques. Les nitrates directement absorbés par les plantes aquatiques (algues, phytoplancton, etc.), contribuent de façon importante à la prolifération de celles-ci et augmentent les risques d'eutrophisation des plans d'eaux⁽⁷⁾.

4.2.5.2 Mesures de l'azote

À propos des eaux usées industrielles, on est généralement intéressé à connaître la concentration des différentes formes de l'azote qui ont été décrites dans le paragraphe 4.2.5.1.

La mesure de l'azote ammoniacal exprime la concentration de l'azote sous sa forme ammoniacale (NH_4^+). L'azote total Kjeldahl (NTK) exprime la somme de l'azote sous sa forme organique et sous sa forme ammoniacale. Les nitrites peuvent être mesurés dans une eau usée. Il faut cependant prendre des



précautions car les nitrites ne sont qu'une forme intermédiaire instable et ils ont tendance à s'oxyder pour devenir des nitrates⁽³⁾.

4.2.6 Composés phosphorés

Le phosphore peut se retrouver sous différentes formes dans une eau usée. C'est un élément essentiel pour la croissance des algues et autres organismes biologiques. Il faut généralement contrôler les rejets en phosphore dans les cours d'eau. Une charge importante en phosphore favorise la prolifération des algues et l'eutrophisation des cours d'eau.

Les différentes formes chimiques du phosphore sont: les orthophosphates (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- et H_3PO_4), les polyphosphates et les phosphates organiques. Les orthophosphates sont assimilables directement par les organismes biologiques pour leurs besoins métaboliques. Les polyphosphates doivent subir une hydrolyse pour devenir des orthophosphates. Cette transformation est toutefois lente en milieu aqueux⁽³⁾.

Étant donné que les phosphates peuvent être présents sous plusieurs formes, quelques-unes sont fournies dans le tableau I-3 de l'annexe I, on demande aux laboratoires d'analyses de procéder à la détermination de la concentration des phosphates et d'exprimer le résultat sous la forme "phosphore total" (P_T) pour éviter toute confusion lors de l'interprétation des résultats. Il existe cependant une méthode qui permet d'établir la concentration des orthophosphates dont le résultat est exprimé en terme de phosphore (o- $\text{PO}_4\text{-P}$).

Les principales sources industrielles de phosphates sont: les industries du traitement de surface (principalement les industries de l'automobile), les industries chimiques, les industries de transformation alimentaire (toutes les industries mais surtout les charcuteries), les mines, les industries des pâtes et papiers, les raffineries de pétrole et les industries du textile. Des composés à base de phosphates sont utilisés couramment pour précipiter les matières en suspension contenues

dans l'eau des chaudières à vapeur. On retrouve donc dans les purges des chaudières à vapeur une quantité importante de phosphates^(2,7).

A titre d'information le tableau 4-5 montre des concentrations en phosphore dans des effluents générés par certaines activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Tableau 4-5: Concentrations en phosphore dans les eaux usées pour différentes activités industrielles⁽²⁾

Sources industrielles	Concentrations (mg/l)
Fabrication des pesticides	1,1 - 3500
Drainage acide de mine	1,5
Traitement de surface	18,0 - 36,2

4.2.7 Huiles et graisses

Les huiles et graisses peuvent être définies comme un ensemble de substances solubles dans un solvant organique. Cette mesure peut inclure d'autres substances extraites d'un échantillon acidifié comme des composés sulfurés, certaines teintures à base organique et la chlorophylle⁽³⁾.

En général les solvants utilisés pour extraire les huiles et les graisses dans les échantillons aqueux sont: le trichlorofluoroéthane, le n-hexane et le méthyl-ter-butyl éther⁽³⁾.

Les huiles et graisses peuvent être caractérisées selon trois critères de classification. Ces critères sont: la polarité, la biodégradabilité et les caractéristiques physiques. Les huiles et graisses dites polaires proviennent généralement de sources animale et végétale. Ces huiles et graisses se retrouvent principalement dans le secteur agro-alimentaire. Les huiles et graisses dites non polaires proviennent surtout du pétrole ou de ses dérivés et de sources minérales.



Les huiles et graisses polaires sont biodégradables, tandis que les huiles et graisses non-polaires sont dites biorésistantes.

On peut utiliser la nomenclature suivante pour décrire l'aspect physique d'une huile dans une eau usée⁽²⁾.

Huile libre:

Les huiles libres sont celles qui flottent rapidement à la surface de l'eau dans des conditions tranquilles.

Dispersion mécanique:

Les huiles apparaissent sous la forme de fines gouttelettes dont le diamètre varie de quelques micromètres à quelques millimètres; elles sont stables de part leur nature électronique (charge électrique) ou autres forces, sans présence d'agents tensioactifs.

Émulsion chimique stable:

Les huiles sont également sous la forme de fines gouttelettes ayant les mêmes dimensions que celles dispersées mécaniquement, cependant il y a eu ajout d'agents tensioactifs pour stabiliser l'émulsion.

Huiles dissoutes:

Elles comprennent les huiles parfaitement solubles dans l'eau et celles dont le diamètre des gouttelettes est généralement inférieur à 5 µm, ces dernières sont alors très finement dispersées. Ces huiles ne peuvent être séparées par des moyens physiques ou mécaniques.

Solides huileux:

Huile adhérent à la surface des matières en suspension véhiculées par une eau usée.

Les principales sources d'huiles et graisses sont le raffinage du pétrole, les industries sidérurgiques, les industries de la machinerie et les industries agro-alimentaires⁽²⁾.

Le raffinage du pétrole produit des rejets liquides dont les concentrations en huiles libres et en huiles émulsifiées sont élevées. Les industries de l'acier et de la transformation métallique sont parmi les principales activités industrielles qui génèrent des eaux usées fortement chargées en huiles libres et émulsifiées. Ces industries utilisent les huiles comme lubrifiant et liquide de refroidissement pour les opérations de laminage. Les industries de transformation et la fabrication métallique les emploient comme fluide de coupe, liquide de refroidissement et lubrifiant.

Les industries agro-alimentaires sont des générateurs d'huiles et graisses. En général, on peut assimiler les rejets de ces industries à des graisses. La transformation de la viande, du poisson et de la volaille génère des effluents liquides fortement chargés en huiles et graisses. Les principales opérations qui génèrent ces rejets sont l'abattage d'animaux, le nettoyage des carcasses et des viscères ainsi que la transformation des sous-produits de la viande. Les concentrations en graisses les plus fortes sont mesurées dans les effluents qui proviennent des opérations d'équarrissage à la vapeur. Les industries laitières sont des sources de graisses généralement solubles dans l'eau.

En ce qui concerne les huiles et graisses, les normes de rejet varient selon leur origine et également selon le type d'activités industrielles qui les génère. Le chapitre 5 précise les normes en question. Par conséquent, selon l'origine de l'échantillon, il peut être nécessaire de faire déterminer la concentration des huiles et graisses totales et/ou des huiles et graisses minérales.

À titre d'information, le tableau 4-6 montre des concentrations en huiles et graisses dans des effluents générés par certaines activités industrielles. Ces



valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse. D'autres valeurs sont signalées dans les guides techniques sectoriels dont les références figurent dans la bibliographie du chapitre 2.

Tableau 4-6: Concentrations en huiles et graisses dans les eaux usées pour différentes activités industrielles⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Fabrication automobile:	
- Effluent global	326
- Laminoir	1123
- Eaux de refroidissement de compresseur	33
- Purge de tours de refroidissement	159
Eaux de ballast de pétrolier	3-72
Eaux de lavage de camions-citerne	32-91
Formulation de peintures	9-1900
Entretien d'avion sans utilisation d'huile	500-1200 250-500
Entretien de véhicules de transport	490
Fabrique de textiles	21
Nettoyage de la laine	1605-12 260
Nettoyage du coton	2300-8160
Fabrication de savons	250
Tannerie	
- préparation des peaux	40 200
- effluent global	jusqu'à 850
- peau de mouton	102-250
Usine de récupération du caoutchouc	1-130
Fabrication de pneus et de chambres à air	38-928
Usine de fabrication de miettes de caoutchouc en émulsion	7-91
Usine de fabrication de miettes de caoutchouc en solution	98-194
Usine de fabrication du latex (caoutchouc)	28
Fabrication de contenants en verre	10-100
Préservation du bois	55-1360

Du point de vue analytique, on retrouve dans la 18^e édition du "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" trois méthodes analytiques pour obtenir la concentration en huiles et graisses dans un échantillon liquide. Ces méthodes sont: la méthode partition-gravimétrique, la méthode partition-infrarouge

et la méthode Soxhlet. Lorsqu'on veut obtenir la concentration en hydrocarbures (huiles et graisses non-polaires) il est possible d'utiliser préalablement des gelées de silice pour adsorber les composés polaires⁽³⁾.

La mesure des huiles et graisses est une mesure générique. Un grand nombre de produits peuvent être assimilés à une huile ou une graisse. Il est donc difficile de tracer un portrait précis des effets toxicologiques sur l'homme.

Au niveau écotoxicologique, les huiles et graisses se trouvant à la surface de l'eau peuvent bloquer la pénétration de la lumière et par conséquent provoquer une diminution de la photosynthèse et des échanges gazeux entre le milieu aqueux et l'atmosphère. Elles peuvent également avoir un impact esthétique⁽⁷⁾.

4.2.8 Métaux et substances inorganiques toxiques

La notion de métaux et substances inorganiques toxiques est plus appropriée que de parler de métaux lourds. Si on se réfère aux années 80, la notion de métaux lourds englobait un nombre limité de métaux. Ceux-ci étaient le cadmium, le chrome, le cuivre, le nickel et le zinc⁽¹¹⁾. Du point de vue strictement toxicologique, le nombre de métaux et composés inorganiques pouvant avoir un effet toxique sur les êtres humains et les différents écosystèmes est plus important.

Cette section traite des métaux et substances toxiques inorganiques qui sont considérés majeurs du point de vue réglementation. Au total, 26 métaux et composés inorganiques toxiques sont présentés. On y donne quelques propriétés physico-chimiques, leurs sources naturelles dans l'environnement, les différentes utilisations industrielles de ces produits, leur importance quant à leurs utilisations, leurs effets sur la santé humaine et sur les écosystèmes aquatiques. Le lecteur pourra se référer au document "Critères de qualité de l'eau" pour différents usages tels qu'ils sont préconisés par le MEF.



Le tableau 4-7 montre la liste des métaux et composés inorganiques toxiques qui sont traités dans cette section.

Tableau 4-7: Liste des métaux et composés inorganiques toxiques

Aluminium	Fer
Antimoine*	Fluorures
Argent*	Manganèse
Arsenic*	Mercure*
Baryum	Molybdène
Béryllium*	Nickel*
Cadmium*	Plomb*
Chrome*	Sélénium*
Cobalt	Sulfures
Cuivre*	Titane
Cyanures*	Vanadium
Étain	Zinc*

* Font partie de la liste des polluants prioritaires de l'EPA.

Pour compléter le portrait, il est nécessaire de mentionner que l'amiante et le thallium sont considérés comme des polluants prioritaires par l'EPA.

4.2.8.1 Aluminium

L'aluminium occupe le 3^e rang quant à son abondance dans la croûte terrestre après l'oxygène et la silice. Sa teneur moyenne dans la croûte terrestre se situe aux environs de 81 000 mg/kg⁽¹²⁾. Dans la nature, l'aluminium ne se retrouve pas sous la forme élémentaire. On en trouve dans certains silicates comme les micas et les feldspaths, de la bauxite et de la cryolithe (Na_3AlF_6). Les argiles contiennent une grande quantité d'aluminium⁽¹⁾.

Sa masse atomique est de 26,98 g/mole et son nombre d'oxydation est +3. Compte tenu de sa valence ionique élevée et de sa faible masse atomique, l'aluminium est un métal hautement réactif. Il est soluble à des pH bas et élevés (métal amphotère). Sa solubilité minimale se trouve dans une fourchette de pH se situant entre 5 et 6^(1,2).

Les principales sources de rejet industriel d'aluminium sont les alumineries, les usines de transformations métalliques, les imprimeries utilisant des procédés lithographiques (lavage à l'acide fluorhydrique) et les usines de finition du métal (lavage alcalin ou acide pour enlever les couches d'oxyde). Les procédés d'anodisation de pièces en aluminium génèrent des eaux usées chargées en aluminium et autres métaux⁽²⁾. On peut trouver de l'aluminium dans les rejets de teinturerie^(2,7). La production mondiale d'aluminium est d'environ 10 millions de tonnes par année⁽⁷⁾.

À titre d'information, le tableau 4-8 montre des concentrations en aluminium dans les effluents générés par différentes activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Tableau 4-8: Concentrations en aluminium dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Eaux usées provenant du laminage de feuilles en aluminium	185
Eaux usées provenant du forgeage	183
Eaux de rinçage provenant d'une tréfilerie (fil de fer)	0,5
Eaux de rinçage provenant du chromage de la fonte	4-13
Eaux usées provenant d'une fonderie de fonte grise	16-110
Eaux usées provenant de la mise en forme de pièces en aluminium	1 283
Solution d'anodisation usée	7 500
Solution de gravure à l'eau forte usée	43 380
Eau de drainage acide de mines de charbon	0,5-18
Eau de lessivage acide de charbon	370

Du point de vue toxicologique, un adulte en bonne santé a peu de risque d'être intoxiqué par une exposition à l'aluminium. Pour les personnes ayant des insuffisances rénales ou des troubles rénaux, les risques d'accumulation sont plus grands. Les différentes pathologies qui peuvent se manifester sont l'accumulation de l'aluminium au niveau des os et des désordres du système nerveux. Dans de rares cas, il a été observé des désordres sanguins^(1,9). L'aluminium est fortement suspecté d'être la cause de la maladie d'Alzheimer. De nombreuses études tendent à démontrer le lien de cause à effet. L'aluminium et ses composés n'ont pas été classifiés comme agents pouvant produire des manifestations toxiques telles que le cancer⁽¹⁰⁾.

Du point de vue écotoxicologique, l'aluminium n'étant pas considéré comme un métal ayant une forte toxicité, peu d'études ont été menées pour mesurer l'impact de l'aluminium sur les différents écosystèmes. Cependant, il a été observé que la concentration de l'aluminium biodisponible augmente à cause des précipitations acides. La toxicité de l'aluminium dans l'eau est fortement liée au pH du milieu. En effet, pour plusieurs espèces de poissons, la toxicité maximale de l'aluminium a été constatée dans une fourchette de pH comprise entre 4,4 et 5,4⁽⁷⁾.

4.2.8.2 Antimoine

La teneur en antimoine dans la croûte terrestre se situe aux environs de 0,2 mg/kg. Il occupe le 62^e rang quant à son abondance relative dans la croûte terrestre⁽¹²⁾. Les formes les plus courantes sont des sulfites et des oxydes. Environ 114 minéraux contiennent de l'antimoine. La stibine (Sb_2S_3) est le minéral le plus abondant contenant de l'antimoine. D'autres minéraux tels que la valentinite (Sb_2O_3), la cervantite (Sb_2O_4) et la kermesite ($2\text{Sb}_2\text{S}_3 \cdot \text{Sb}_2\text{O}_3$) contiennent une quantité importante d'antimoine^(1,7).

La masse atomique de l'antimoine est de 121,75 g/mole. L'antimoine peut avoir comme nombre d'oxydation -3, +3 ou +5. Exceptionnellement l'antimoine peut avoir un nombre d'oxydation de +4, lorsqu'on considère les chlorures et les oxydes

d'antimoine. La solubilité de l'antimoine est nulle dans l'eau. Certains composés d'antimoine sont solubles dans l'eau⁽¹⁾.

Les utilisations industrielles de l'antimoine sont nombreuses. Il est utilisé couramment dans les alliages dans des proportions pouvant aller de 2 à 12% pour durcir certains alliages à base de plomb et d'étain. On le retrouve combiné au plomb dans le domaine de la typographie, l'armature de certaines batteries et la fabrication de munitions. L'antimoine entre dans la composition d'alliages, avec des métaux tels que le cadmium, le tellure, le zinc ou le cuivre pour la fabrication de thermocouples^(1,13).

Les composés tels que les trioxydes d'antimoine sont utilisés dans l'industrie de la céramique et du verre pour augmenter l'opacité du verre et comme décolorant, comme substances ignifuges pour les matières plastiques et les textiles. Sous la forme de tri et pentasulfures d'antimoine, il est utilisé dans la fabrication d'allumettes, de pièces pyrotechniques, de la peinture et des laques. Le trichlorure d'antimoine est employé comme agent brunissant de métaux et comme catalyseur de la chloration ou de la polymérisation de composés organiques tels que les composés vinyliques. Les composés d'antimoine de types halogénures pentavalents sont utilisés comme matières de base pour la fabrication de composés organiques halogénés^(1,13).

Dans le domaine thérapeutique, le tartrate d'antimoine sert d'agent vomitif et antiparasitaire. D'autres composés à base d'antimoine sont utilisés comme médicaments pour le traitement de maladies tropicales⁽¹⁾.

Les rejets industriels d'antimoine se font principalement dans l'atmosphère.

Du point de vue toxicité humaine, l'antimoine est considéré comme un composé faiblement toxique. Les cas d'intoxications aiguës répertoriés pour l'antimoine et ses composés sont rares et sont de nature professionnelle. Les sources d'expo-



sition non-professionnelle à l'antimoine sont l'eau et la nourriture^(1,9). Du point de vue cancérogénicité, l'antimoine a été démontré cancérogène chez l'animal à des concentrations dans l'air identique aux concentrations permises en milieu de travail. Il est important de noter cependant que l'antimoine n'a pas été reconnu cancérogène chez l'être humain. Sa classification comme cancérogène est 2B (cancérogène probable pour l'être humain) dans le cas du trioxyde d'antimoine, et de 3 (non-classifié comme un cancérogène de l'être humain) lorsqu'on considère le trisulfite d'antimoine⁽¹⁰⁾.

Du point de vue écotoxicité, sa toxicité relativement faible conjuguée aux effets dus à la présence simultanée des autres substances toxiques (plomb, arsenic, cobalt, silice) font qu'il est difficile de quantifier spécifiquement l'effet de l'antimoine sur différents écosystèmes. Les manifestations toxiques sur les écosystèmes aquatiques tendent à démontrer une toxicité plus grande chez les plantes aquatiques que chez les poissons⁽⁷⁾.

4.2.8.3 Argent

L'argent, comme le cuivre et l'or, est un métal qui a occupé une place importante dans l'évolution de la civilisation. Sa teneur moyenne est estimée à 0,07 mg/kg dans la croûte terrestre. Il y occupe le 67^e rang quant à son abondance relative⁽¹²⁾.

L'argent se trouve dans plusieurs minerais dont l'argentite (Ag_2S), la céragyrite (AgCl) et autres minéraux contenant du plomb, du zinc, du cuivre, de l'or ou du cuivre-nickel^(1,7). La masse atomique de l'argent est de 107,87 g/mole. L'argent a généralement un nombre d'oxydation +1. Il peut toutefois avoir dans certains cas un nombre d'oxydation +2.

L'argent est considéré comme un métal précieux. Il est couramment utilisé dans la production de pièces de monnaie, de bijoux et d'articles de table (vaisselle, ustensile, etc). Il peut être utilisé comme tel ou entrer dans la composition d'alliages pour la soudure. Du point de vue industriel, l'argent est utilisé comme

contact dans le domaine des composantes électriques et électroniques, avec le zinc et le cadmium pour la fabrication de piles électriques de grande capacité^(1,2,13). À plus grande échelle, l'argent (sous forme de sels) est utilisé dans le domaine des composantes électriques et électroniques, avec le zinc et le cadmium pour la fabrication de piles électriques de grande capacité. À plus grande échelle, l'argent (sous forme de sels) est utilisé dans le domaine photographique, dans la production de miroirs, dans les alliages servant aux obturations et pour le traitement des verrues et des brûlures. Compte tenu de leurs propriétés germicides, certains sels d'argent peuvent être utilisés dans le domaine du traitement de l'eau potable et comme mesure prophylactique contre les infections du type blennorragie au niveau des yeux des nouveaux-nés lorsque la mère est infectée^(1,13).

Les principales sources industrielles rejetant de l'argent dans l'eau sont les industries d'électroplacage et de développement de films photographiques⁽²⁾.

À titre d'information, le tableau 4-9 montre des concentrations en argent dans les effluents pour différentes activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles, pour fins d'analyse.

Tableau 4-9: Concentrations en argent dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (µg/l)
Fabrique de peinture	20
Teinturerie	50
Industrie du textile	5-130
Développement photographique	65 000-1 310 000
Placage à l'argent	700-40 000
Industrie du fer et de l'acier	175
Buanderie commerciale	7-120
Centrale électrique (charbon):	
- Effluent du bassin des cendres	1-14
- Effluent liquide de l'épurateur à voie humide	5-600



Du point de vue toxicité humaine, l'argent est considéré comme modérément toxique. Dans le cas d'expositions importantes, les manifestations cliniques observées sont l'apparition de plaques bleu-grises sur l'épiderme. L'absorption de nitrate d'argent par voie orale peut produire des irritations au niveau du système gastro-intestinal. Lors d'intoxications aiguës, des lésions au niveau rénal et pulmonaire peuvent survenir ainsi que des problèmes d'artériosclérose^(1,9). L'argent et ses composés n'ont pas été classifiés comme agents pouvant produire des manifestations toxiques telles que le cancer⁽¹⁰⁾.

Du point de vue écotoxicologique, l'argent est considéré comme étant très toxique pour la vie aquatique. Sa toxicité aiguë en milieu aqueux décroît lorsque la dureté croît. Les plantes semblent plus résistantes à l'argent que les animaux⁽¹⁷⁾.

4.2.8.4 Arsenic

Le trioxyde d'arsenic est l'un des plus vieux poisons utilisés par l'homme. Déjà avant l'ère chrétienne, ses effets et les doses requises étaient bien connus. Au Moyen-Âge, on s'en servait pour éliminer ses ennemis⁽⁹⁾. L'arsenic est omniprésent dans l'environnement, sa teneur moyenne dans la croûte terrestre se situe aux environs de 1,8 mg/kg. Il y occupe le 52^e rang quant à son abondance⁽¹²⁾. Certaines roches peuvent contenir des quantités importantes d'arsenic telles que les basaltes à des teneurs variant entre 0,06 à 113 mg/kg, le granite entre 0,2 et 13,8 mg/kg, les roches volcaniques et les silicates de chaux entre 0,2 et 13,8 mg/kg, la pierre à chaux entre 0,1 et 20 mg/kg, le grès entre 0,1 et 120 mg/kg, l'argile et le schiste argileux entre 0,3 et 490 mg/kg et les rocs phosphatés entre 0,4 et 188 mg/kg^(1,7,13).

La masse atomique de l'arsenic est de 74,922 g/mole. Ses nombres d'oxydation sont: -3, +3 ou +5. L'arsenic se retrouve naturellement dans des minerais comme l'arsénopyrite (FeAsS), la leucopyrite (FeAs), la cobaltite (CoAsS), la proustite (Ag₃AsS₃), l'arséniate de cuivre (Cu₃As), le nickel arsénical (NiAs), la smaltite (CoAs₂), le réalgar (As₄S₄) et l'orpiment (As₄S₆). Le minerai le plus important,

contenant de l'oxygène, est le trioxyde d'arsenic (arsenic blanc) qui est produit par l'oxydation des sulfites. L'arsenic sous forme de trioxyde est un sous-produit du grillage de minerais sulfureux (fer, plomb, cuivre, nickel). Les minerais cuivrés constituent la principale source de trioxyde d'arsenic^(1,7).

Ses utilisations industrielles et environnementales sont variées. Jusqu'au début des années 40, certains composés à base d'arsenic étaient utilisés pour contrôler des insectes nuisibles dans les vignobles et comme poison pour les rongeurs. Sur une base plus restreinte, des composés à base d'arsenic sont, de nos jours, utilisés pour défolier les champs de coton pour faciliter la récolte mécanisée⁽¹⁾. De plus, l'arsenic entre dans la composition de certains fongicides et insecticides (ex.: l'arséniate de plomb). Il existe deux procédés de traitement pour la préservation du bois qui utilisent des composés à base d'arsenic. Ce sont les procédés CCA (Arséniate de cuivre chromaté) et ACA (Arséniate de cuivre ammoniacal). Sous la forme d'arsénite de cuivre et d'acétate de cuivre "arsénié" ils étaient utilisés comme pigment vert. Il faut noter que plusieurs produits mentionnés précédemment ne sont plus utilisés de nos jours, compte tenu des risques importants pour la santé humaine^(1,2).

Dans le domaine de la métallurgie, l'arsenic est utilisé pour durcir certains alliages comme le bronze. Pendant la fabrication de munitions, l'arsenic est ajouté au plomb en fusion pour augmenter la tension de surface du mélange et favoriser la fabrication de la chevrotine^(1,2).

L'arsenic à l'état pur ainsi que certains alliages comme la combinaison gallium-arsenic sont des composés vitaux pour la fabrication de semi-conducteurs et de puces électroniques⁽¹⁾.

À titre d'information, le tableau 4-10 montre des concentrations en arsenic dans les effluents générés par différentes activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.



Tableau 4-10: Concentrations en arsenic dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS TOTALES (mg/l)	CONCENTRATIONS SOLUBLES (mg/l)
Fabrication d'insecticide	362	-
Extraction du minerai d'or	910-1012	10,1-132
Eaux de drainage de mine	-	6,0-22,0
Fabrication d'acide sulfurique	200-500	-
Extraction du minerai de zinc	-	0,1-0,68
Boulettage du minerai de cuivre	-	0,05-5,70
Boulettage du minerai de cuivre: lixiviation acide	230	0,15-19,0
Usine de trioxyde d'arsenic	310	-
Affinage du cuivre	-	0,001-51
Production d'acide borique	-	0,04-0,92
Usine d'ammoniac	430	-
Production du bois d'oeuvre	0-14	-
Transformation du bois	-	13-50
Raffinage du pétrole	0-0,48	-
Formulation d'encre et de peinture	0-0,80	-
Buanderie commerciale	0-1,60	-
Émaillage de la porcelaine	0-2,80	-

Du point de vue toxicité humaine, l'arsenic sous sa forme trivalente est plus toxique que sous sa forme pentavalente et ce, pour les composés organiques ou inorganiques. Une dose variant entre 70 et 180 mg est suffisante pour causer la mort. Une exposition chronique à des composés organo-arséniés peut amener des problèmes de neurotoxicité et une atteinte des systèmes nerveux central et périphérique. La toxicité chronique peut aussi se manifester au niveau hépatique^(1,9). À la différence de nombre de ses composés, l'arsenic n'a pas été démontré cancérigène chez l'animal⁽⁹⁾.

L'arsenic et ses composés sont considérés cancérigènes pour l'être humain. Sa classification comme cancérigène est 1 (cancérigène reconnu pour l'être humain)⁽¹⁰⁾. Les différents types de cancer associés à une exposition chronique à l'arsenic sont: le cancer de la peau, le cancer du foie, la leucémie, le cancer du rein et le cancer de la fosse nasopharyngique⁽⁹⁾.

Au niveau écotoxicité, l'arsenic en milieu aqueux fait l'objet d'une recommandation pour protéger les approvisionnements en eau brute destinés à la consommation.

Il a été démontré qu'en général les organismes aquatiques sont moins sensibles à l'arsenic que les êtres humains. On peut trouver de fortes concentrations d'arsenic méthylé dans certains crustacés (homard, crevette). Cette forme est toutefois moins toxique que l'arsenic inorganique⁽⁷⁾.

4.2.8.5 Baryum

Le baryum comme les autres métaux alcalino-terreux est présent sur toute la terre. Dans la couche supérieure de la croûte terrestre, la teneur moyenne en baryum est de 500 mg/kg. Il occupe le 14^e rang quant à son abondance relative⁽¹²⁾. Il est présent sous la forme de baryte (BaO), de withérite (Ba(OH)₂), de sulfate, la barytine (BaSO₄) ou de carbonate, la vitelline (BaCO₃)⁽¹⁾. Sa masse atomique est de 137,34 g/mole. Son nombre d'oxydation est +2. Le baryum métallique est instable dans l'air comme le calcium. Dans l'eau, il produit une réaction violente.

Ses utilisations industrielles sont nombreuses. Dans le domaine de la métallurgie, il entre dans la composition d'alliages pour la fabrication de coussinets en plomb. Dans la fabrication électronique, il est utilisé comme produit de dégazage pour les tubes sous-vides. En médecine, le sulfate de baryum est utilisé comme opacifiant pour les examens radiologiques. On l'utilise comme pigment pour la coloration du verre et de la céramique et plus récemment comme adjuvant dans le béton de ciment pour absorber les radiations électromagnétiques dans les édifices^(2,13).

Certains composés solubles de baryum ont été utilisés comme insecticides. Dans le domaine de la fabrication de la peinture, le baryum est utilisé pour obtenir une teinte blanche. Le stéarate de baryum est l'un des additifs utilisés lors de la production de certains polymères. D'autres composés comme des borates et des chlorates de baryum peuvent être utilisés dans la fabrication de pièces pyrotechniques pour colorer les feux d'artifice^(2,13).



À titre d'information, le tableau 4-11 montre des concentrations en baryum dans les effluents de deux sources industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Tableau 4-11: Concentrations en baryum dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽¹⁴⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Eaux usées provenant d'une usine de fabrication de peinture	0,77-5,7
Fabrication d'explosifs	10

La toxicité du baryum est fonction de sa solubilité. Les composés solubles sont absorbés par l'organisme et s'accumulent dans les os. Les intoxications professionnelles sont plus communes. Elles résultent surtout de l'inhalation de poussières de sulfate de baryum. La maladie associée à ce type d'intoxication est une pneumoconiose. En cas d'empoisonnement par des sels solubles de baryum, les symptômes observés sont: gastro-entérite, paralysie musculaire, diminution du rythme cardiaque, fibrillation ventriculaire et extrasystole. En cas d'intoxication aiguë, il peut y avoir un déséquilibre des concentrations en potassium dans l'organisme⁽⁹⁾.

Dans l'environnement, le baryum se présente le plus fréquemment sous la forme d'un sel insoluble. Par conséquent, son écotoxicité ne constitue pas un grand risque pour les différents écosystèmes. Bien que les plantes accumulent le baryum, les effets sur leur croissance n'ont pas été démontrés. De plus, son utilisation industrielle limitée et le déclin de l'utilisation de composés à base de baryum comme insecticide font que les quantités rejetées dans l'environnement sont faibles⁽⁷⁾.

4.2.8.6 Béryllium

Le béryllium occupe le 45^e rang quant à son abondance dans la croûte terrestre. Sa teneur moyenne se situe aux environs de 3 mg/kg⁽¹²⁾. Les principales sources minérales de béryllium sont le béryl (émeraude verte, aigue-marine, chrysobéryl), qui contient environ 4% de béryllium et le bertrandite ($\text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$)^(1,7). Sa masse atomique est de 9,0122 g/mole. Son nombre d'oxydation est +2.

Les utilisations industrielles du béryllium sont nombreuses. Il est utilisé dans le domaine métallurgique pour ses propriétés physiques. Il possède un grand rapport rigidité-poids et une bonne stabilité dimensionnelle. Sa haute résistance à la chaleur et sa bonne conductivité thermique font qu'il est un excellent métal pour la fabrication d'ailettes pour dissiper la chaleur. Ses propriétés de transparence aux rayons X font qu'il est utilisé pour fabriquer des fenêtres pour les tubes à rayons X. Dans le domaine de l'industrie nucléaire, il est utilisé pour ses propriétés de matériau modérateur et réflecteur pour les neutrons^(1,13).

L'oxyde de béryllium (BeO) est utilisé pour la fabrication de creuset. Il est utilisé comme isolant électrique à haute conductivité thermique. Dans le domaine de l'électronique, le béryllium sous forme de céramique sert pour la fabrication de transistors, de puces au silicone, d'armatures de bobines électriques et de tubes au laser^(1,13).

Dans le domaine de la métallurgie, les alliages cuivre-béryllium et nickel-béryllium contenant entre 0,5 et 4% de béryllium sont utilisés pour leurs excellentes propriétés de mise en forme et d'usinage. Les propriétés électriques de ces alliages en font des matériaux de prédilection pour la fabrication de contacts électriques. Les autres applications courantes se retrouvent dans l'aéronautique, les moules pour l'industrie des matières plastiques, l'armature de coussinets, les attaches à ressort et les armatures de relais pour les câbles sous-marins. L'hydruure de béryllium est utilisé comme combustible solide dans les fusées^(1,13).



Du point de vue toxicologie humaine, la principale porte d'entrée du béryllium se situe au niveau des voies respiratoires. Les effets les plus importants se manifestent sur les poumons. Les pathologies rencontrées sont: la pneumonie chimique aiguë, l'hypersensibilité et la béryllose (granulomatose pulmonaire chronique)^(1,9).

Le béryllium ingéré est absorbé surtout au niveau stomacal à des pH acides. Dans les intestins, il est éliminé directement en précipitant avec les phosphates. Les composés de béryllium solubles peuvent produire des dermatites de contact^(1,9).

Le béryllium et ses composés ont la classification 2A (suspectés cancérigènes chez l'être humain)⁽¹⁰⁾.

Au niveau écotoxicologique, il existe peu de données pour établir précisément une recommandation pour protéger les différents écosystèmes. La dureté de l'eau a un effet sur la toxicité du béryllium. En eau douce, le béryllium serait plus toxique qu'en eau dure⁽⁷⁾.

4.2.8.7 Cadmium

Le cadmium est omniprésent dans l'environnement à de faibles concentrations. C'est un élément qui n'a été découvert qu'en 1817 et son utilisation est demeurée mineure jusqu'à récemment. Depuis les 50 dernières années, l'utilisation industrielle du cadmium est croissante. Il occupe le 64^e rang pour son abondance dans la croûte terrestre avec une teneur moyenne de 0,15 mg/kg⁽¹²⁾. Les sources minérales de cadmium sont la greenockite (CdS), l'otavite (CdCO₃) et un produit associé dans la sphalérite (ZnS)^(1,7). Du point de vue présence dans l'environnement, il faut toutefois considérer les sources anthropiques du cadmium (activités industrielles, utilisations de fertilisants, etc.). La masse atomique du cadmium est de 112,40 g/mole. Son nombre d'oxydation est +2.

Les utilisations industrielles du cadmium sont nombreuses. Dans les accumulateurs électriques argent-zinc, le cadmium sert de dépolarisateur. Le cadmium est aussi utilisé pour la fabrication de pile nickel-cadmium. On a recours au cadmium dans le domaine de l'électroplacage pour ses propriétés de grande adhérence, de formation de fini métallique à grain fin et comme couche anticorrosion pour des pièces de fer et d'acier. Le cadmium entre dans la composition des caoutchoucs pour augmenter sa résistance à la chaleur. Il est utilisé aussi dans la fabrication d'objets en plastique pour améliorer le comportement de ceux-ci à haute température. La formulation des peintures nécessite parfois l'emploi de certains composés à base de cadmium qui constituent des pigments. Dans le domaine des semi-conducteurs, il entre dans la composition de cellules photovoltaïques. Il sert à la fabrication de produits comme le verre, la céramique, certains fongicides et à d'autres, employés en photographie^(1,7,13).

Il y a du cadmium comme résidu dans les effluents des industries de la transformation primaire des métaux non-ferreux (zinc, plomb, cuivre) et dans les eaux de drainage des parcs de résidus miniers⁽²⁾.

À titre d'information, le tableau 4-12 montre des concentrations en cadmium dans les effluents générés par différentes activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.



Tableau 4-12: Concentrations en cadmium dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Eaux de rinçage dans l'industrie du placage	0,4-158
Avec recirculation des eaux de rinçage	1000-3330
Industrie de finition métallique	2-8
Bain de passivation et de brillantage	2000-5000
Fonderie de cuivre	0,09-1,08
Affinage et fonderie de plomb	0,08-1,20
Affinage et fonderie de zinc	0,02-33,0
Affinage de cuivre et zinc	15
Production de fer et d'acier	0,0-80
Eaux usées de fonderie de fer	0,00-0,95
Formulation d'encre et de peinture	0,00-0,81
Transformation de caoutchouc	0,00-0,72
Industrie de la porcelaine	0,00-9,60
Eaux de drainage acide de mine de plomb	1000
Eaux de drainage acide de mine	400-1000

La concentration du cadmium dans des eaux douces non-polluées se situe aux environs de 1 µg/l⁽⁷⁾. La concentration dans l'eau de mer se situe entre 0,04 et 0,30 µg/l⁽¹²⁾. Cette concentration peut augmenter de façon importante par la surconsommation de fertilisants chimiques (engrais préparés avec des roches phosphatées). Au Japon, où la culture du riz est intensive, la concentration du cadmium dans le sol peut atteindre 69 mg/kg de sol⁽⁹⁾.

Du point de vue toxicologique, le cadmium a plusieurs portes d'entrée. On retrouve du cadmium dans l'eau, dans l'air, dans les aliments et même dans les cigarettes. Dans les plants de tabac, la bioaccumulation du cadmium a été démontrée et ceci peut constituer une source d'exposition importante. Le cadmium s'accumule principalement dans les reins et le foie. Les pathologies diagnostiquées dans des cas d'intoxications aiguës sont: des troubles gastro-intestinaux, des pneumonies chimiques aiguës et des oedèmes pulmonaires. Les pathologies rencontrées lors d'intoxications chroniques sont des problèmes d'insuffisance pulmonaire, d'emphysème et d'atteintes au niveau des tubules rénaux. D'autres pathologies comme la maladie de Itai-Itai, pathologie au niveau

squelettique et des problèmes cardio-vasculaires peuvent survenir en cas d'expositions chroniques^(1,9). Le cadmium et ses composés sont classifiés 2A (suspecté cancérigène chez l'être humain)⁽¹⁰⁾.

Au niveau écotoxicologique, le cadmium peut être bioaccumulé par différents organismes. Les facteurs de bioconcentration varient entre 100 et 100 000. La dureté de l'eau influence l'absorption du cadmium. Ainsi, le cadmium est moins absorbé lorsque la dureté augmente. Le pH influence aussi l'absorption du cadmium. Certains organismes aquatiques comme les algues et les bactéries absorbent plus le cadmium à des pH faibles. Il est important de noter qu'il ne semble pas y avoir une bioamplification des concentrations de cadmium dans les différents niveaux trophiques^(2,7).

4.2.8.8 Chrome

Le chrome occupe le 21^e rang quant à son abondance dans la croûte terrestre. Sa teneur peut atteindre 100 mg/kg dans le roc et dans la croûte terrestre⁽¹²⁾. La principale source minérale de chrome est la chromite (FeCr_2O_4)^(1,7). La masse atomique du chrome est de 51,996 g/mole. Le chrome peut avoir différents nombres d'oxydation: -2, +2, +3 ou +6. Un nombre d'oxydation de -2 se retrouve surtout pour des composés du chrome organométalliques. Le chrome avec un nombre d'oxydation de +2, un agent fortement réducteur, est rapidement oxydé par l'air pour devenir du Cr^{3+} . Les nombres d'oxydation +3 et +6 sont ceux retrouvés dans la nature. Le chrome peut aussi avoir des nombres d'oxydation +4, +5, mais ces formes sont instables.

Les utilisations industrielles du chrome hexavalent sont nombreuses. Les plus importantes sont la production d'acier inoxydable et le domaine du placage au chrome. Le chrome est aussi utilisé dans de nombreux procédés industriels tels que le tannage du cuir, l'impression, la production de teinture, d'agent décolorant,



de détergents, de pigments, d'apprêt de peinture et de la préservation du bois^(1,2,7,13).

Le chrome hexavalent sous la forme de chromates (CrO_4^{2-}) est utilisé comme inhibiteur de corrosion dans les circuits de refroidissement. Le trioxyde de chrome (CrO_3) est utilisé pour préparer les bains de placage au chrome.

Le chrome trivalent est présent dans les levures de bière, les briques et le ciment. Le chrome trivalent retrouvé dans les effluents industriels provient parfois de systèmes d'épuration des eaux utilisés pour réduire le chrome hexavalent. Il y a des rejets de chrome trivalent dans le domaine du verre et de la céramique, de la photographie, de l'industrie des pigments inorganiques, de l'industrie textile utilisant des teintures et de l'industrie des colles animales^(2,7).

À titre d'information, les tableaux 4-13 et 4-14 montrent des concentrations en chrome trivalent, en chrome total et en chrome hexavalent dans les effluents dus à diverses activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Tableau 4-13: Concentrations en chrome trivalent dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l) (chrome trivalent)	CONCENTRATIONS (mg/l) (chrome total)
Industries des métaux ornementaux:		
- Rejets totaux	7,25	16
- Purge de tour de refroidissement	60	250
Tanneries de peaux de mouton	15-60	15-60
Tanneries	42-52	42-52
Effluents d'aciérie	5-10	5-10
Placage de métaux	10,2	11,8
Eaux de rinçage de circuits imprimés	32	105
Anodisation de l'aluminium	1-400	1-430
Eaux usées de teinturerie	300	600
Bains de décapage sélectif	7000-45 000	22 200-87 000
Recouvrement d'anneaux de piston	0,14-4,7	0,16-4,7
Lixiviat d'eau de lavage du charbon	0,42	0,42
Production du dioxyde de titane	50	50
Production du dichromate de sodium	10-240	800-1500

Tableau 4-14: Concentrations en chrome hexavalent dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Tannage du cuir	40
Production du dichromate de sodium	560-1490
Fabrication du dichromate de sodium et d'acide chromique	1300
Production d'oxyde de chrome	101
Production de pigments de chrome	17-957
Fabrication de pigments	2-2000
Fabrication de peinture	0,4-7,5
Solutions usées de teinturerie	300
Solutions usées de formulation d'encre	150
Effluent d'épuration à voie humide d'incinérateur de déchets municipaux	0,5
Fabrication de ferro-alliages	0,06-121
Fabrication d'aluminium	136
Production d'ornements automobiles	700
Production de pièces automobiles	11,5-30
Fabrication de carburateurs	46-91
Fabrication de pièces de missile	1
Fabrication de machines à écrire et de bureaux	16
Fabrication d'argenterie	5
Fabrication d'attaches en métal	52
Fabrication de pièces en métal ornemental	9
<i>Traitements métalliques spécifiques:</i>	
- Eaux de rinçage pour le brillantage	1-6
- Solutions du bain de brillantage	10 000-50 000
- Solutions de décapage sélectif	200-5800
- Solutions d'anodisation	15 000-52 000
- Eaux de rinçage de l'anodisation	0,2-100
- Eaux de rinçage de placage et anodisation	10,4
- Effluents de placage	60-80
- Solutions de bains de placage	100 000-270 000
- Eaux de rinçage de placage au chrome	73-2310
- Électroplacage	8-140
- Industries de placages mixtes	12-60
- Solutions de bains de galvanisation	43
- Eaux de lixiviat de déchets de placage mixte	12

On trouve des concentrations en chrome variant entre 0 et 5 µg/l dans l'eau douce non-polluée⁽⁷⁾ et inférieures à 1 µg/l dans l'eau de mer⁽¹²⁾. Il y en a 0,23 mg/kg dans les plantes terrestres et 1 mg/kg dans les plantes aquatiques. Ces concentrations deviennent plus élevées lorsqu'il y a des activités humaines (effluents industriels, effluent de site d'enfouissement et combustion de combustibles fossiles).



Le chrome trivalent est un élément essentiel pour certaines fonctions métaboliques chez l'humain. Toutefois, du point de vue toxicologie humaine, à des doses élevées, le chrome peut être toxique. À fortes doses, le chrome ingéré est un néphrotoxique. Il peut produire des nécroses au niveau tubulaire. Lors d'expositions chroniques à des poussières de chrome hexavalent, les pathologies constatées sont la perforation de la fosse nasale, les ulcérations cutanées et des dommages rénaux et hépatiques. Au niveau cytoplasmique, le chrome hexavalent traverse les parois cellulaires pour former des complexes avec des macromolécules. Il peut produire des cancers des voies respiratoires^(1,9). Le chrome hexavalent et ses composés sont classifiés 1 (reconnus cancérigènes pour l'être humain)⁽¹⁰⁾. Les composés de chrome trivalent et le chrome métallique sont classifiés 3 (non-cancérigène pour l'être humain)⁽¹⁰⁾.

Au niveau écotoxicologique, les formes trivalente et hexavalente du chrome sont celles qui présentent le plus grand intérêt. Le chrome trivalent a tendance à former des complexes stables avec des espèces inorganiques ou organiques qui se retrouvent dans les sédiments. Les composés du chrome hexavalent sont assez solubles dans l'eau. Ils peuvent pénétrer plus facilement au travers des membranes d'organismes aquatiques. C'est pour cette raison qu'ils sont considérés comme étant plus toxiques pour eux. Le facteur de bioconcentration du chrome par les organismes aquatiques varie entre 10^2 et 10^3 . Il faut noter cependant que les teneurs en chrome dans le biote aquatique sont généralement plus basses que dans les sédiments⁽⁷⁾.

4.2.8.9 Cobalt

Le cobalt est un métal relativement rare. Sa teneur se situe aux environs de 22 mg/kg dans la croûte terrestre. Il occupe le 30^e rang quant à son abondance relative⁽¹²⁾. Les minerais de cobalt, sous forme d'arsénites, sulfites et oxydes se trouvent généralement avec d'autres dépôts de minerais et particulièrement ceux de cuivre et de nickel. Les minerais contenant du cobalt sont la linnéite (Co_3S_4),

la carrollite (CuCo_2S_4), la smaltite (CoAs_2), la skutterudite $[(\text{Co,Fe})\text{As}_3]$ et la cobaltite ($\text{CoS}_2 \cdot \text{CoAs}_2$)^(1,7,13).

La masse atomique du cobalt est de 58,933 g/mole. Ses nombres d'oxydation sont: +2 et +3. Le cobalt peut aussi avoir des nombres d'oxydation de 0, +1 ou +4. Toutefois, ces dernières sont rares. Les sels de cobalt bivalents sont en général plus stables que les sels trivalents. Ce même raisonnement s'applique aux complexes.

Au niveau industriel, 80% du cobalt produit sert à la fabrication d'alliages. Le reste est utilisé pour produire des composés à base de cobalt⁽¹³⁾.

Dans le domaine de la métallurgie, le cobalt est utilisé dans la fabrication de superalliages résistants à la corrosion et à la déformation à haute température. Ses propriétés ferromagnétiques font qu'il est utilisé pour la fabrication d'aimants. On l'utilise aussi comme agent durcissant dans certains alliages employés pour fabriquer des outils de coupe^(1,2,7,13).

Certains composés à base de cobalt sont utilisés comme catalyseurs, siccatifs dans la peinture et pigments pour le verre et la poterie. La vitamine B_{12} (cyanocobalamine) est extraite des foies d'animaux ou produite par biotechnologie. Elle peut être ajoutée dans la nourriture animale et dans les fertilisants pour la prévention des carences en cobalt^(1,2,7,13).

Les principales sources d'émissions industrielles du cobalt dans l'environnement sont les eaux de drainage acides des mines de charbon, les rejets atmosphériques produits par la combustion du charbon et les rejets provenant de décharges contenant des déchets industriels⁽⁷⁾.

Du point de vue toxicité humaine, le cobalt est considéré comme étant un élément essentiel à la vie quoique toxique à forte dose. Le cobalt représente 4,34% de la



masse totale de la vitamine B₁₂. Ingéré en grandes quantités, le cobalt peut occasionner le goitre. Les autres pathologies qu'on peut rencontrer sont la cardiomyopathie pour des sujets ingérant de la bière contenant du cobalt, une pneumoconiose pour des travailleurs exposés à des poussières de métaux, des allergies et des érythèmes^(1,9). Le cobalt et ses composés sont classifiés 2B (cancérogène possible chez l'être humain)⁽¹⁰⁾.

Au niveau écotoxicologique, le cobalt ne représente pas une menace compte tenu de sa toxicité faible et des quantités peu importantes qui se retrouvent dans l'environnement. Certains organismes aquatiques bioaccumulent le cobalt. Le facteur de bioconcentration des algues d'eau douce peut varier de 400 à 2×10^6 . Il faut toutefois noter que deux facteurs peuvent l'influencer, soit l'absorption et l'adsorption. Il est possible de mesurer des facteurs de bioconcentration aussi importants pour les plantes aquatiques submergées ou flottantes. Les plantes d'eau douce à racine ont des facteurs de bioconcentration inférieurs à 10. Les organismes benthiques ont des facteurs de bioconcentration plus élevés que chez les organismes nageant librement ou en surface. En général, le facteur de bioconcentration peut varier entre 30 et 14 000 pour les organismes benthiques. Les insectes ou les larves d'insectes peuvent bioaccumuler le cobalt de façon importante (jusqu'à 10^6). Le facteur de bioconcentration pour les crustacés et les hirudinées (sangsues) varie entre 1 et 11 000⁽⁷⁾.

Il est bon de noter que lorsqu'on considère le cobalt, le facteur de bioamplification n'est pas un critère primordial compte tenu du fait que la bioconcentration diminue pour les niveaux trophiques supérieurs.

4.2.8.10 Cuivre

Le cuivre a été un métal important dans l'évolution de la civilisation. L'âge du bronze (alliage cuivre-étain) qui s'étend sur le II^e millénaire avant Jésus-Christ, montre le rôle majeur du cuivre dans l'évolution de l'homme⁽¹³⁾. Cette période

correspond à la diffusion des outils. En effet, le cuivre se trouvait abondamment à l'état métallique dans la nature et était utilisé pour la fabrication d'outils.

Dans la croûte terrestre, il est présent sous la forme de sulfites, d'arsénites, de chlorures et de carbonates. Il occupe le 26^e rang quant à son abondance relative dans la croûte terrestre⁽¹²⁾. Le cuivre métallique dans la nature est oxydé en surface sous forme de carbonate basique hydraté (Malachite: $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) et de sulfate de cuivre hydraté (Chalcanthite: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) qui lui donne sa couleur verdâtre^(1,7,13). La teneur en cuivre dans la croûte terrestre se situe aux environs de 50 mg/kg⁽¹²⁾. Pour les dépôts de minerais de type ferromagnésium tels que des basaltes pyropènes et des biotites, la teneur moyenne peut s'élever à 140 mg/kg. Certaines roches contiennent des quantités importantes de cuivre. Le grès a des teneurs variant entre 10 et 40 mg/kg. Elles sont de 30 à 150 mg/kg pour le schiste argileux et de 20 à 300 mg/kg pour l'ampélite⁽⁷⁾. Le minerai ayant la teneur la plus élevée en cuivre est la chalcopirite (CuFeS_2). Elle constitue environ 50% des gisements de cuivre mondiaux. Le cuivre se trouve généralement associé à d'autres métaux et métalloïdes tels que le fer, le nickel, le zinc, l'arsenic, l'antimoine, le bismuth, le molybdène, l'argent, l'or et le platine⁽⁷⁾.

La masse atomique du cuivre est de 63,54 g/mole. Son nombre d'oxydation peut être de +1, +2 ou +3. Les composés du cuivre de valence +1 sont généralement oxydés sous forme de composés cupriques. De nombreux sels et des complexes du cuivre bivalent sont solubles dans l'eau. Les composés du cuivre trivalent se trouvent surtout sous la forme de composés cristallins et de complexes. La plupart des complexes du cuivre trivalent ont une durée de vie assez courte sauf pour les complexes cuivre trivalent-peptide qui ont une durée de vie relativement longue en milieu aqueux.

Les utilisations industrielles sont nombreuses. Le cuivre est utilisé dans le domaine de l'électroplacage, de la production de circuits imprimés, des textiles, et comme catalyseur dans de nombreux procédés chimiques⁽²⁾. Dans le domaine



de l'agriculture, le sulfate de cuivre est utilisé comme fongicide dans les vignobles^(1,7).

Les principales sources d'émissions industrielles de cuivre dans l'environnement sont les eaux de drainage acides des parcs à résidus miniers, les procédés de synthèse du silicone, la préservation du bois, les pâtes et papiers, les industries du carton, la fabrication des fertilisants, les industries des pigments et de la peinture, les industries de transformation primaire de l'acier, les aciéries, les industries de transformation primaire des métaux non-ferreux, les industries de fabrication des moteurs automobiles et des pièces d'avions. Les eaux de purge de chaudières peuvent contenir une quantité importante de cuivre, lorsque des produits à base d'ammoniac sont utilisés pour le traitement des eaux de chaudières^(2,7).

À titre d'information, les tableaux 4-15 et 4-16 montrent des concentrations en cuivre dans les effluents générés par différentes activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Tableau 4-15: Concentrations en cuivre dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Eaux de rinçage de placage	0-120
Eaux de rinçage de placage au cuivre:	
- Premier rinçage	183
- Deuxième rinçage	2,2
Placage de fil à soudeure en cuivre:	
- Solution de placage	3640
- Acides usés	34
- Eaux de rinçage	2-10
Manufacture d'appareils électroménagers:	
- Acides usés	0,06-11,0
- Déchets alcalins	1,0
Manufacture de circuits intégrés	0,23

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Manufacture de circuits imprimés	2,3-77
Manufacture de radiateurs automobiles	24-33 (moy. 28)
Finition des métaux	0,5-5
Placage à l'argent:	
- Déchets contenant de l'argent	2-900 (moy. 12)
- Déchets acides	30-590 (moy. 135)
- Déchets alcalins	3,2-19 (moy. 6,1)
Placage au laiton	
- Déchets du bassin de trempage	4,0-23
- Déchets du bassin de brillantage	7,0-44
Anodisation à l'aluminium	0,2-2,0
Anodisation et placage	1,3-4,7
Eaux de rinçage, usine de laiton	4,4-888
Eaux de bains de trempage au dichromate d'une usine de laiton	4,5-74
Tréfilerie de fils de cuivre et de laiton	2,5-124
Eaux de rinçage de fabrique de cuivre	19-74
Fabrication de tuyaux de cuivre	70-800
Extraction du minerai de cuivre	0,28-0,33
Extraction de minerais aurifères	3,2-20
Eaux de drainage acide de parcs à résidus miniers	0,12-128
Formulation de peinture	0,04-0,40
Formulation d'encre	0,01-6,4
Formulation d'encre et de peinture	0-100
Préservation du bois	0,05-1,1
Usine de fabrication du sulfate de cuivre	221-433
Eaux de nettoyage de chaudières	0-790
Raffinage du pétrole	0,0-1,4
Gomme et résine du bois	0,0-6,0
Émaillage de la porcelaine	0,0-12,0

La concentration du cuivre dans les eaux de surface naturelles est généralement inférieure à 5 µg/l⁽⁷⁾. Les concentrations plus élevées de cuivre dans les eaux de surface proviennent très souvent de sources anthropiques. La concentration du cuivre dans l'eau salée est moins élevée que dans les eaux douces et se situe aux environs de 0,5 µg/l⁽¹²⁾.



Tableau 4-16: Concentrations en cuivre dans les eaux usées des industries de transformation primaire et secondaire (eaux brutes)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)	CONCENTRATIONS MOYENNES (mg/l)
Production du cuivre à partir de minerais:		
- Précipitation des scories	0,05-0,60	0,26
- Purge des épurateurs à voie humide	0,06-7350	2450
- Refroidissement du métal en fusion	0,2-3,5	1,6
- Récupération d'arsenic	-	88,4
- Affinage électrolytique	0,20-25,3	5,7
Production du cuivre à partir du métal recyclé:		
- Précipitation des scories	0,07-1250	317
- Eaux de l'épurateur à voie humide	0,04-280	140
- Eaux de refroidissement du métal en fusion	0,07-3,38	1,3

Le cuivre est un élément essentiel à certaines fonctions métaboliques chez l'humain. Cependant, à fortes doses, il peut produire de nombreux symptômes et même la mort. Ces symptômes sont: vomissement, hématurie, hypotension, melaena, coma et jaunisse. Certaines intoxications aiguës provoquent des anémies hémolytiques. Le cuivre n'est pas cancérigène pour l'être humain^(1,9).

Au niveau écotoxicologique, la sorption et la précipitation sont les phénomènes les plus importants sur le devenir non-biologique du cuivre en milieu aquatique. Il a de fortes affinités pour les oxydes de fer et de manganèse hydratés, les argiles, les minéraux carbonatés et les matières organiques. En milieu acide, le cuivre sorbé ou copécipité peut être remis en solution. En présence de matières organiques solubles, la sorption du cuivre est moins efficace. Le cuivre étant un élément métabolique essentiel, il est facilement accumulé par les plantes et les animaux. Certaines espèces de phytoplancton, de zooplancton, de macrophytes, de macrovertébrés et de poissons bioaccumulent le cuivre à des facteurs variant de 100 à 26 000. La bioamplification du cuivre n'est pas importante lorsqu'on s'élève dans la chaîne trophique⁽⁷⁾.

4.2.8.11 Cyanures

Les composés à base de cyanure (acide cyanhydrique HCN, cyanure de sodium NaCN) sont des produits chimiques très utilisés dans certaines industries. L'oxydation des cyanures est expliquée dans le paragraphe 7.4.2.1 du chapitre 7 de ce guide. Elle les transforme en cyanates, des produits intermédiaires lors de la première étape de la chloration alcaline des cyanures.

Les cyanures sont une famille de composés organiques et inorganiques caractérisés par le groupement CN⁻. L'espèce de cyanure présente en milieu aqueux est fonction du pH, de la température, de l'oxygène dissous, de la salinité, de la présence d'autres ions et agents complexants et du rayonnement solaire⁽⁷⁾.

On peut classifier les cyanures sous quatre formes: libre, simple, complexe ou organique. Le cyanure libre est la somme du cyanure moléculaire (acide cyanhydrique, cyanure d'hydrogène sous forme de molécule neutre, non dissocié) et du cyanure ionique (l'anion libre CN⁻). Les cyanures simples sont des composés qui se dissocient en milieu aqueux pour donner un cation et l'ion cyanure sans intermédiaire soluble. Les cyanures complexes sont des composés qui se dissocient en cation et anion composé d'au moins deux espèces chimiques différentes dont l'une est le cyanure. L'anion est dit complexe lorsqu'il peut se dissocier à nouveau et libérer des ions cyanures libres. Les composés de cyanures organiques s'appellent nitriles, cyanures, cyanates, isocyanures, isocyanates et fulminate selon la classe fonctionnelle correspondante. Les cyanures totaux comprennent tous les cyanures et certains cyanates dosables selon une méthode analytique particulière. Ils représentent toutes les espèces de cyanures présents en milieu aqueux. Les termes "cyanure total", "cyanure oxydable", "cyanure susceptible de chloration" et "cyanure susceptible d'ozonation" indiquent la méthode de dosage utilisée pour la détermination⁽³⁾.



Les principales sources industrielles où on trouve des rejets cyanurés sont: l'extraction et le traitement de minerais, le développement photographique, les fours à coke, les manufactures de fibres synthétiques, la cémentation de l'acier et les effluents des épurateurs à voie humide. La source majeure de rejets cyanurés demeure toutefois l'industrie d'électroplacage. Le cyanure y est utilisé comme agent pour maintenir en solution les ions métalliques tels que: le cadmium, le cuivre et le zinc notamment dans les bains de placage alcalins⁽²⁾.

Les cyanures sont utilisés dans le contrôle de la vermine à titre de poison et comme produits fumigènes^(1,13).

À titre d'information, les tableaux 4-17 et 4-18 montrent des concentrations en cyanures dans les effluents rejetés par différentes activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Du point de vue toxicité humaine, les cyanures et leurs composés sont des poisons violents. Les sels alcalins cyanurés sont toxiques uniquement par voie orale. Les autres composés à base de cyanure sont absorbés immédiatement par différentes portes d'entrée: voie cutanée, membrane épithéliale et par inhalation. La dose létale se situe à 1 mg de cyanure/kg de poids corporel. Selon la voie d'exposition, la mort peut survenir en quelques minutes ou après plusieurs heures. Les symptômes observés à la suite d'un empoisonnement au cyanure sont: salivation, nausées sans vomissement, anxiété, confusion, vertiges, étourdissements, rigidité de la mâchoire inférieure, convulsions, opisthotonos, paralysie, coma, arythmie cardiaque et arrêt des fonctions respiratoires^(1,9).

Tableau 4-17: Concentrations en cyanures dans les eaux usées pour l'industrie du traitement de surface (eaux brutes)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	FOURCHETTES DE CONCENTRATION (mg/l)
Eaux de rinçage-placage	0,3-2,56
Brillantage	15-20
Solution du bain de nettoyage alcalin	4 000-8 000
Solutions de bains de placage	45 000-100 000
Solutions de bains de placage:	
- Laiton	16 000-48 000
- Bronze	40 000-50 000
- Cadmium	20 000-67 000
- Cuivre	15 000-67 000
- Argent	12 000-60 000
- Zinc-étain	40 000-50 000
- Zinc	4 000-64 000

Tableau 4-18: Concentrations en cyanures dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATION (mg/l)
Eaux de l'épurateur à voie humide d'un haut-fourneau	0,2-48,5
Eaux de l'épurateur à voie humide de l'industrie des ferro-alliages	0,7-5,4
Effluent d'une cokerie	
- Liqueur du four à coke	0-8
- Réservoir de décantation	8
- Condensat du système de refroidissement final	196
- Séparateur de benzol	2736
- Séparateur d'huile	104
- Liqueur usée de chaux	4
Liqueur de l'unité d'ammoniaque d'une usine de coke	2-60
Effluent d'une cokerie	10-110
Effluent du procédé de blanchiment de film couleur	71
Effluent d'usine de cyanure d'hydrogène	14-42 (moy. 28)
Usine de transformation du charbon	2-30
Extraction du minerai d'or	18,2-22,3
Fabrication d'explosifs	0,0-2-6
Raffinage du pétrole	0,0-1,5
Formulation d'encre et de peinture	0,0-2,0



Au niveau écotoxicologique, ce sont les cyanures libres (HCN et CN⁻) qui ont fait l'objet d'études détaillées. L'impact des cyanures sur les organismes aquatiques est principalement l'inhibition de la réaction enzymatique cytochrome-oxydase, l'une des réactions responsables du transfert de l'oxygène dans la cellule. Il est important de noter que de nombreux végétaux sont insensibles aux cyanures⁽⁷⁾.

4.2.8.12 Étain

Tout comme le cuivre, l'étain a été un métal important dans l'évolution de la civilisation. Il est l'un des constituants du bronze avec le cuivre^(1,13). On trouve l'étain dans plus de 9 minerais. Le seul minerai d'intérêt pour l'extraction de l'étain est la cassitérite (SnO₂)^(1,7). Sa teneur se situe aux environs de 2,5 mg/kg dans la croûte terrestre. Il occupe donc le 50^e rang quant à son abondance relative⁽¹²⁾.

La masse atomique de l'étain est de 118,69 g/mole. Ses nombres d'oxydation sont: +4, 0, +2 ou +4. C'est un métal amphotère, il peut réagir avec des acides ou des bases. En milieu aqueux, on le retrouve surtout sous la forme stannique (+4).

Ses utilisations sont nombreuses. Comme métal, il est utilisé pour la fabrication d'assiettes en étain et de matériaux pour la soudure, dans les alliages et les feuilles métalliques, dans des récipients et boîtes de conserve, comme composant du bronze, pour le recouvrement de billes de roulements. Du fait de sa faible toxicité, il a remplacé le plomb comme métal utilisé dans la soudure des boîtes de conserve. L'étamage peut se faire par électroplacage ou par trempage dans un bain d'étain en fusion. Sous forme d'oxyde d'étain, il est utilisé pour faire des glaçures blanches et des émaux. Certains composés inorganiques comme l'hexahydroxostannate(IV) de dissodium, Na₂[Sn(OH)₆] et l'hexachlorostannate(IV) de diammonium, (NH₄)₂[SnCl₆], sont utilisés pour la teinture au mordant^(1,2,7,13).

On retrouve les organoétains dans la composition de fongicides, de désinfectants, d'agents de protection du bois, dans la peinture, comme stabilisants dans la fabrication de polymères, tels que les agents auxiliaires pour la fabrication de la

mousse d'uréthane. Dans le domaine médical, le diéthyl di-iodo-étain était utilisé pour traiter des infections cutanées comme l'impétigo^(1,9).

Il existe peu de données sur la concentration de l'étain dans les effluents industriels. Toutefois, à titre d'information, le tableau 4-19 montre des concentrations en étain dans les effluents générés par certaines activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Tableau 4-19: Concentrations en étain dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽¹⁴⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Placage électrolytique:	
- Placage mixte	0,06-100
- Placage anélectrolytique	0,06-90
- Recouvrement	0,1-6,6
- Décapage sélectif	0,34-6,6
- Fabrication de circuits intégrés	0,06-54
Formulation d'encre	0,25-2,2
Formulation de peintures	0,25-10,5
Fabrication de pesticides	0,06-0,11

La concentration dans les eaux douces se situe aux environs de 1 à 2 µg/l⁽⁷⁾ et dans l'eau salée, aux environs de 0,8 µg/l⁽¹²⁾.

Du point de vue toxicité humaine, l'étain sous forme métallique et ses composés inorganiques sont non-toxiques. Une exception cependant, l'hydrure d'étain, SnH₄, est plus toxique que l'arsine (composé hémolytique). Certains organoétains sont très toxiques. En général, les composés alkyles d'étain sont plus toxiques que les composés aryles d'étain. La longueur des chaînes alkylées a aussi une influence sur la toxicité de ces composés. Plus la chaîne est courte, plus la toxicité est grande^(1,9).



Au niveau écotoxicologique, les composés inorganiques d'étain ne sont pas toxiques. Ils ont fait l'objet de peu d'études. Certaines études tendent à démontrer qu'il y a bioaccumulation de l'étain inorganique dans certains poissons. De plus, il peut y avoir méthylation de l'étain en présence de certaines bactéries. Il n'existe pas de critère de qualité de l'eau pour l'étain inorganique⁽⁷⁾.

Les composés organiques d'étain sont reconnus comme étant toxiques en milieu aqueux. Les mécanismes de biotransformation des organoétains sont complexes. Ils font intervenir plusieurs mécanismes séquentiels. Ces composés peuvent être adsorbés sur les particules de sol et de sédiments. Il en résulte donc une persistance importante dans l'environnement. À titre indicatif, le tributylétain a un temps de demi-vie de désorption de 10 mois. Les organoétains peuvent être bioaccumulés par les organismes aquatiques. On a mesuré des facteurs de bioconcentration variant entre 1 et 10^4 ⁽⁷⁾.

4.2.8.13 Fer

La découverte de l'extraction du fer provenant du minerai a contribué à l'accélération de l'évolution de la civilisation. Il occupe le 4^e rang quant à son abondance relative dans la croûte terrestre avec des teneurs se situant aux environs de 54 000 mg/kg⁽¹²⁾. On le trouve sous forme d'oxydes ferreux ou ferriques, de carbonates, de bisulfites, de sulfates et de chlorures. Le fer peut aussi se retrouver sous forme de carbonyle comme le pentacarbonylfer(0)(Fe(CO)₅). De nombreux minéraux contiennent du fer. Les principaux minéraux ayant une valeur commerciale sont la magnétite (Fe₃O₄) et l'hématite (Fe₂O₃). La pyrite (FeS₂) est surtout utilisée comme source de soufre et non de fer. Le fer est le principal constituant de l'acier et de la fonte^(1,7,13). C'est le pourcentage de carbone qui distingue l'acier de la fonte. Ainsi, l'acier sera constitué au maximum de 1,5% à 1,7% de carbone, tandis que la fonte sera constituée de carbone dans une proportion variant entre 1,7 et 6,7%⁽¹³⁾.

La masse atomique du fer est de 55,847 g/mole. Le fer peut avoir deux nombres d'oxydation. Les composés ferreux (Fe(II)) ont un nombre d'oxydation de +2 et les composés ferriques (Fe(III)) ont un nombre d'oxydation de +3. En milieu aqueux, le fer sera surtout sous forme ferrique. Les sels ferriques sont insolubles en milieu aérobie, ce qui a pour conséquence de réduire les concentrations de fer en milieu aqueux. Les réactions d'oxydation et de réduction, le pH et la présence simultanée d'agents séquestrants inorganiques et organiques déterminent la forme chimique du fer en milieu aqueux⁽⁷⁾.

À pH faible et en absence d'oxygène, le fer ferreux prédomine, tandis qu'en présence d'oxygène, à pH faible (<3), le fer est sous forme ferrique. En milieu neutre ou alcalin, en présence d'oxygène, il y aura formation de complexes hydroxydés. En milieu aérobie, le fer ferreux sera oxydé en fer ferrique qui précipitera sous la forme d'une suspension colloïdale de particules d'hydroxyde ferrique. Ces composés peuvent se déposer dans les cours d'eau, ou demeurer en suspension et contribuer à augmenter la turbidité de l'eau. À des pH supérieurs à 12, les hydroxydes de fer sont resolubilisés⁽⁷⁾.

La concentration du fer dans les eaux de surface aérées est généralement inférieure à 0,5 mg/l. Dans les eaux souterraines, elle peut varier entre 10 et 100 mg/l⁽⁷⁾.

Les utilisations industrielles du fer sont nombreuses. Dans le domaine des ferro-alliages il peut être mélangés à du charbon, des phosphates, de la silice, du soufre, du nickel, du chrome, du tungstène, du molybdène ou du vanadium pour obtenir des alliages métalliques. Ces alliages sont destinés aux domaines de la fabrication métallique et de la construction. Le fer est aussi utilisé pour des applications particulières. Ces applications sont: comme produit entrant dans la composition d'encres dans le domaine de la copie de plan (citrate d'ammonium fer (III)), teinture au mordant (nitrate de fer (III), chlorure de fer (II)), à titre d'intermédiaire dans la chimie organique de synthèse (pentacarbonylfer(0)), dans le



domaine du traitement des eaux (chlorure de fer (III)), comme pigments rouges dans le domaine du caoutchouc, de la peinture et des linoléums (oxyde de fer), inhibiteur de fumée dans le domaine de la fabrication des circuits imprimés (ferrocène: bis-cyclopentadienyfer(II) $\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$) et dans la fabrication de médicaments. Certains oxydes de fer sont utilisés comme colorants dans le domaine alimentaire. Ces dernières applications ne consomment que 1% du fer produit^(1,2,7,13).

À titre d'information, le tableau 4-20 montre des concentrations en fer dans les effluents générés rejetés par diverses activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Du point de vue toxicité humaine, le fer est un élément essentiel pour le métabolisme. Il peut cependant causer des intoxications si les doses absorbées sont trop grandes. En cas d'intoxication aiguë, les manifestations cliniques sont: vomissement parfois avec du sang qui indique l'ulcération du tube gastro-intestinal et des fèces de coloration noire. Par la suite, on peut observer un choc et une acidose métabolique, des dommages hépatiques, des problèmes de coagulation qui dégénèrent en une défaillance rénale et une cirrhose hépatique.

L'intoxication chronique par le fer est caractérisée par une accumulation excessive dans les cellules du parenchyme hépatique et pancréatique, au niveau des glandes endocrines et au niveau cardiaque. Les manifestations cliniques qu'on peut observer sont: dérèglement des fonctions hépatiques, diabète sucré, dérèglement endocrinien et problèmes cardio-vasculaires^(1,9). L'exposition des travailleurs des aciéries aux différents contaminants dont des oxydes de fer sont des causes de cancers professionnels reconnus (classification 1, cancérigène pour l'être humain)⁽¹²⁾. Toutefois, il est important de spécifier que c'est une exposition mixte et qu'il y a d'autres contaminants présents qui ont des potentiels cancérigènes reconnus dont le chrome, le nickel et les benzopyrènes (HAP).

Tableau 4-20: Concentrations en fer dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Fabrication d'équipements lourds de ferme	56
Usine d'assemblage automobile	3-4
Eaux de rinçage d'atelier de forge	25
Aciérie:	
- Solutions usées de bains de décapage acide	70 000-96 800
- Eaux de rinçage de bains de décapage acide	60-5000
- Laminage à froid	60-150
- Eaux usées de laminoir	25-75
Placage et traitement métalliques:	
- Fabrication d'appareils	0,09-1,9
- Fabrication de radiateurs d'automobiles	1,5-31
- Fabrication d'appareils:	
- Eaux usées combinées	0,2-20
- Solutions acides usées	25-60
- Placage au chrome	40-64
- Placage au zinc	3,4
- Placage au cuivre	11,6-120
- Eaux usées de placage	1,9-25
- Solution de bains de décapage à l'acide	98 000
- Solution de bains de placage au cuivre	23 000
Fabrication de circuits intégrés	12,5
Production du dioxyde de titane	0,02-31 000
Laminage à chaud de l'aluminium	3210 3,8-37,3
Formulation de peintures	15,2
Formulation d'encres	134
Opération d'entretien sur des chaudières:	
- Nettoyage des tubes	1125
- Nettoyage du préchauffeur d'air	1860
Eaux acidifiées provenant des opérations de nettoyage du charbon:	
- Fer (II)	1680
- Fer (III)	1630

Au niveau écotoxicologique, les hydroxydes de fer en suspensions colloïdales peuvent contribuer à augmenter la turbidité de l'eau. Les effets de l'augmentation de la turbidité sont la diminution de la pénétration de la lumière ce qui a pour conséquence une perte de productivité des organismes primaires (végétaux macrophytes, phytoplancton). Certains microorganismes et champignons peuvent



redissoudre le fer. La concentration du fer en milieu aqueux peut varier de façon importante. Les cycles de croissance d'algues d'eaux douces et des microorganismes apparentés peuvent faire diminuer de façon sensible les concentrations du fer dans l'eau. Le fer est généralement libéré dans l'eau après la mort et la décomposition de ces organismes⁽⁷⁾.

4.2.8.14 Fluorures

Le fluor est l'un des éléments chimiques les plus réactifs du tableau périodique. C'est pour cette raison qu'on ne trouve pas de fluor à l'état élémentaire, mais seulement sous la forme de fluorures. Les minerais associés au fluor sont la fluorine (CaF_2), la cryolithe (Na_3AlF_6) et la fluorapatite ($[\text{CaF}_5(\text{PO}_4)_3]^{(1,7)}$). Le fluor occupe le 13^e rang quant à son abondance dans la croûte terrestre. Sa teneur se situe aux environs de 650 mg/kg⁽¹²⁾.

La masse atomique du fluor est de 18,9984 g/mole. Son nombre d'oxydation est -1. Sa tendance forte à compléter sa dernière couche électronique fait qu'il est fortement réactif. Le fluor réagit pratiquement avec tous les éléments du tableau périodique. Il peut même réagir avec des gaz inertes comme le xénon, le radon et le krypton.⁽¹⁾

La concentration en ions fluorures dans les eaux de surface se situe aux environs de 1,0 mg/l⁽⁷⁾. Certains lacs d'Afrique orientale ont des concentrations qui peuvent atteindre 1000 mg/l^(1,7). Les eaux souterraines peuvent présenter des concentrations de 10 mg/l⁽⁷⁾.

Les composés fluorés sont utilisés dans plusieurs secteurs d'activités industrielles. Ces secteurs sont: la galvanoplastie, le moulage d'objets métalliques, le soudage et le brasage, la production primaire d'aluminium, d'acier, de briques, d'adhésifs et de fondants métallurgiques et l'industrie du verre. Le fluor est aussi utilisé pour la production d'engrais, d'insecticides, d'herbicides à base de phosphates, pour la préservation du bois et l'affinage de l'uranium. Le fluor est utilisé comme

mesure prophylactique contre la carie dentaire. Dans certaines villes, il est ajouté à l'eau potable à raison de 1 à 1,3 mg/l ou pour porter sa concentration à 1 ou 1,2 mg/l. Il entre dans la composition de pâtes et poudres dentifrices, de rince-bouches et des suppléments vitaminiques^(1,2,9).

À titre d'information, le tableau 4-21 montre des concentrations en fluorures dans les effluents générés par différentes activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Tableau 4-21: Concentrations en fluorures dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	FOURCHETTES DE CONCENTRATIONS (mg/l)	CONCENTRATIONS MOYENNES (mg/l)
Production de circuits d'ordinateur	-	57,8
Production de circuits imprimés	-	47,5
Production primaire d'aluminium	10,2-1400	147,7
Production de coke - récupération d'ammoniac	10-100	-
Aciérie:		
- Usine de bouletage	-	8,5
- Haut fourneau	0,49-23,0	14,0
- Convertisseur à l'oxygène	3,75-14,5	9,1
- Four à sole	65-148	106,5
- Four à arc électrique	0,0-20,7	8,2
Minerai de phosphates:		
- Four à scories	73-270	-
- Production d'acide phosphorique	3-12000	-
Usine d'engrais à base de phosphates	308-1050	-
	-	
Production de fluorure d'hydrogène	13-193	-
	-	
Fabrication du verre:		
- Tube-écran	-	143
- Ampoule de lumière givrée	-	2800
- Verre soufflé	194-1980	-
Bains de placage au fluoborate	-	134
Bains de décapage de titane	60 000-90 000	-
Bains de décapage d'aluminium	-	2250
Bains de décapage d'alliage d'acier	16 000-39 500	-
Eaux usées acides de lavage du charbon	-	81

Au niveau chronique, certaines études ont observé des fluoroses squelettiques (ostéoporose), des douleurs au niveau des articulations et une diminution de mobilité dans les mouvements. Certaines études ont démontré une augmentation de concentration de fluorures au niveau sérique et urinaire, accompagnée d'une diminution de pression sanguine au niveau bronchial et artériel temporal, d'effets sur les contractions cardiaques et une sécrétion urinaire d'adrénaline. Lorsque les concentrations en fluorures dans les eaux de consommation sont trop élevées, on peut observer des cas de fluorose dentaire dans la population. Cette pathologie est caractérisée par des taches blanches incrustées au niveau de l'émail des dents, qui peuvent causer des taches importantes et des cavités^(1,9).

Au niveau écotoxicologique, les fluorures sont responsables de la dissolution du béryllium, de l'aluminium, du scandium, du niobium, du tantale, du fer et de l'étain. En général, les fluorures associés avec des cations monovalents sont solubles dans l'eau (NaF, AgF et KF), tandis que ceux associés avec des cations bivalents sont généralement insolubles (CaF₂ et PbF₂). Les effets toxiques des fluorures sont moins importants lorsque les eaux sont dures (présence de calcium)⁽⁷⁾.

Les fluorures peuvent être bioaccumulés par de nombreux organismes aquatiques. Les algues d'eau douce et de mer et certaines plantes vasculaires peuvent bioaccumuler les fluorures par des facteurs de 20 à 50 fois la concentration ambiante. Chez les invertébrés, le facteur de bioaccumulation peut atteindre 100. Chez les poissons, les fluorures se bioaccumulent au niveau du squelette⁽⁷⁾.

On peut observer la bioamplification des fluorures dans la chaîne trophique, en milieu aqueux, d'un (1) ordre de grandeur, soit un facteur allant jusqu'à 10⁽⁷⁾.

4.2.8.15 Manganèse

Le manganèse sous forme métallique n'a que très peu d'utilisation. Il est utilisé surtout dans le domaine de la métallurgie primaire et particulièrement dans la fabrication de ferro-alliages^(1,7).

On le trouve dans plusieurs minerais dont le plus important la pyrolusite (MnO_2) et sous forme d'oxydes hydratés, acerdèse, braunite, hausmannite, de carbonate (MnCO_3) et de sulfures (l'albandine)^(1,7). Il peut être en quantités importantes dans des minerais ferromagnésiens tels que la biotite et l'amphibole. Il occupe le 12^e rang quant à son abondance dans la croûte terrestre à des teneurs de 1000 mg/kg⁽¹²⁾.

La masse atomique du manganèse est de 54,938 g/mole. Ses nombres d'oxydation sont: -3, +2, +4, +6 et +7. Les formes chimiques les plus importantes en milieu aqueux sont les formes bivalentes (Mn^{2+}) et tétravalentes (Mn^{4+}). Les permanganates (Mn^{7+}) ne sont pas persistants en milieu aqueux puisqu'ils sont des oxydants puissants de la matière organique et sont donc réduits. Les nitrates, sulfates et chlorures de manganèse sont solubles dans l'eau, tandis que les oxydes, carbonates, phosphates, sulfures et hydroxydes sont peu solubles.

Les utilisations industrielles du manganèse et de ses composés sont nombreuses. Il entre dans la composition de certains aciers, dans la fabrication de piles sèches, dans l'industrie du verre et de la céramique comme colorant, dans la formulation d'encres et teintures, dans la fabrication d'allumettes, de pièces pyrotechniques et dans la composition d'engrais. On le retrouve comme additif dans l'essence sous forme de composé organique tel que le méthylcyclopentadienyle manganèse tricarbonyle^(1,2,7,13).

Les principales sources d'émission industrielles de manganèse dans l'environnement sont les eaux de drainage de mine, les eaux provenant des épurateurs à voie humide d'incinérateurs d'ordures ménagères, les eaux usées d'aciéries et d'usine d'alliages du type ferromanganèse et ferro-alliages, les usines de production de manganèse et les industries de formulation de peintures⁽²⁾.



À titre d'information, le tableau 4-22 montre des concentrations en manganèse dans les effluents dus à certaines activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Tableau 4-22: Concentrations en manganèse dans les eaux usées pour différentes activités industrielles⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Eaux usées provenant d'un épurateur à voie humide d'incinérateurs municipaux	60
Eaux usées provenant d'épurateurs à voie humide d'un haut fourneau d'industries de ferromanganèse	833
Acierie (eaux usées de l'usine de dégazage)	5,7-13,3
Eaux usées d'épurateurs à voie humide d'industries des ferro-alliages	0-1322
Eaux provenant des étangs à scories d'industries de seconde transformation	0,5-10,8
Formulation de peintures	10
Usine de production de manganèse	1000-6700
Eaux de mine	1,2-8,0
Eaux de drainage alcalin de mine	0,01-6,8 (moy. 0,61)
Eaux de drainage acide de mine	0,29-440 (moy. 50,1)

La concentration en manganèse dans les eaux de surface naturelles est généralement inférieure à 0,2 mg/l. Il est toutefois possible de trouver des concentrations supérieures à 0,2 mg/l dans les eaux de surface et les eaux souterraines en conditions réductrices⁽⁷⁾.

Du point de vue toxicité humaine, le manganèse est un élément essentiel pour le métabolisme. Il est impliqué à titre de cofacteur dans de nombreuses réactions enzymatiques telles que la phosphorylation et la synthèse du cholestérol et des acides gras. Le temps de demi-vie du manganèse dans l'organisme humain est de 37 jours. Le manganèse peut traverser les barrières cérébrales et demeurer

plus longtemps au niveau du cerveau, ce qui explique certaines pathologies rencontrées au niveau cérébral. D'un point de vue toxicité aiguë, le manganèse n'étant que très peu toxique, les pathologies rencontrées en cas d'intoxications aiguës sont, par voie orale, l'irritation des voies gastro-intestinales ou des tissus dermiques^(1,8).

Au niveau écotoxicologique, le manganèse en milieu aqueux se comporte du point de vue chimique comme le fer. La concentration du manganèse est influencée par les variations des potentiels d'oxydo-réduction, de la teneur en oxygène dissous, du pH et des matières organiques présentes en milieu aqueux. Dans ce milieu, le manganèse est un oligo-élément pour de nombreux organismes. On le retrouve dans les microorganismes, les plantes et les animaux. Les facteurs de bioconcentration du manganèse en eau salée pour les organismes marins varient de 10^3 à 10^4 chez les mollusques et les crustacés de 10^2 , 10^4 et 10^5 respectivement pour les poissons, les algues marines et les plantes⁽⁷⁾.

4.2.8.16 Mercure

Au Moyen-Âge, le mercure était appelé vif argent ou hydrargyre d'où l'origine de son symbole chimique Hg. Il occupe le 69^e rang quant à son abondance dans la croûte terrestre avec une teneur moyenne de 0,02 mg/kg⁽¹²⁾. Les dépôts minéraux rentables pour l'extraction du mercure ont des teneurs variant entre 0,5 et 6%. Le mercure se trouve dans plus de 30 minerais communs et minerais de gangue. Du point de vue exploitation commerciale le cinabre (HgS) est le minerai le plus intéressant^(1,7).

La masse atomique du mercure est de 200,59 g/mole. Ses nombres d'oxydation sont: +1 (mercure I) ou +2 (mercure II). La forme divalente est la plus commune. Il a tendance à former des liens covalents avec d'autres atomes de mercure. Le mercure formera des composés ioniques avec ClO_3^- , ClO_4^- et CO_3^{2-} et des liens covalents avec pratiquement tous les autres composés. Les composés ioniques



sont plus solubles que les composés covalents. En milieu aqueux, les composés ioniques se dissocient pour former du mercure cationique. Les chlorates et les perchlorates de mercure sont instables. Le mercure peut aussi former avec des acides organiques des sels qui se comportent comme des sels inorganiques. Les composés organomercurés sont caractérisés par une liaison Hg-C stable. La stabilité de cette liaison est fonction de la longueur de la chaîne organique⁽⁷⁾.

Les utilisations industrielles du mercure sont variées. Il est utilisé pour la fabrication d'équipements électriques et électroniques, de piles sèches, d'instruments de contrôle industriel, pour la production de chlore-alcali (ancien procédé en déclin pour ne pas dire complètement disparu). Il entre dans la composition de peintures anti-rouilles, de fongicides, de certains produits pharmaceutiques. Il est utilisé comme catalyseur dans l'industrie pétrochimique et des plastiques. Par le passé, le mercure sous la forme de fulminate de mercure était utilisé comme explosif, tout comme certains composés du mercure l'étaient pour le contrôle anti-salissures dans le domaine des pâtes et papiers. Le mercure était aussi utilisé pour la fabrication du feutre et pour la prise d'empreintes digitales. A titre d'élément, il entre dans certains alliages pour la fabrication de bijoux. On retrouve également le mercure métallique dans les amalgames dentaires. Pour cette dernière application, la tendance est à la baisse^(1,7,13).

Les principales sources d'émissions industrielles de mercure sont les industries de fabrication de peinture et fongicides, les laboratoires de recherches et d'hôpitaux, la fabrication d'instruments de mesure et la fabrication et le développement de pellicules photographiques. Les anciennes industries de chlore-alcali utilisant un procédé à base de mercure en rejetaient des quantités importantes de mercure. De plus, la soude caustique provenant de ce procédé était contaminée par le mercure. Les concentrations pouvaient atteindre 150 mg/l^(2,7).

À titre d'information, le tableau 4-23 montre des concentrations de mercure dans les effluents rejetés par différentes activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Tableau 4-23: Concentrations en mercure dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Usine de pâtes et papiers (anciennes valeurs)	20-34
Usine de production de fertilisants	0,26-40
Fonderie	20-40
Industries de chlore-alcali (ancien procédé)	80-21 500
Industries de peintures à base d'eau	300
Industries de formulation d'encre et de peintures	0-120 000
Production d'acétaldéhyde	20 000
Production de lampes fluorescentes	2
Effluent du bassin de cendres volantes de charbon	2-3
Effluent de teintureries	15 000
Effluent d'industries du textile	11
Récupération secondaire du plomb d'accumulateurs	0,66 <0,20 (soluble)
Transformation du caoutchouc	0-720

La concentration naturelle du mercure dans les eaux de surface douce se situe aux environs de 0,01 à 0,03 µg/l⁽⁷⁾. Dans les océans la concentration naturelle en mercure varie entre 0,02 et 0,06 µg/l⁽¹²⁾.

Du point de vue toxicité humaine, le mercure sous plusieurs de ses formes est toxique. Sous la forme métallique, la porte d'entrée principale se situe au niveau des voies respiratoires (vapeur de mercure). Au niveau gastro-intestinal, l'absorption du mercure métallique est inférieure à 0,01%. Sous forme de composés inorganiques, l'absorption gastro-intestinale est aux environs de 10%



et sous forme de méthylmercure, l'absorption est de 95%. Les différentes formes chimiques du mercure produisent des effets différents sur l'organisme humain^(1,9).

Le mercure métallique sous la forme de vapeur a comme organes cibles le système nerveux central et le rein. Sous la forme de sels métalliques, le mercure a comme organe cible le rein. Les composés organiques du mercure ont une forte prédilection pour le système nerveux central et particulièrement pour le cerveau. Les voies d'excrétion principales des différents composés sont les fèces pour le mercure métallique, les composés inorganiques du mercure et les composés organiques du mercure. Les composés organiques du mercure et le mercure métallique à cause de leurs propriétés liposolubles traversent facilement la barrière placentaire^(1,9).

Les manifestations cliniques de l'exposition au mercure sont nombreuses et fonction de la forme chimique à laquelle la personne est exposée.

Une exposition aiguë au mercure métallique sous forme de vapeur pourra produire une bronchite, une pneumonie interstitielle, une dyspnée et une toux aiguë, et ce, à l'intérieur d'un délai de 1 à 2 heures. Si l'exposition n'est pas fatale, il peut y avoir des séquelles au niveau du système nerveux central dont les manifestations sont des tremblements et une augmentation de l'excitabilité. Les signes d'atteinte précoce associés à une exposition chronique sont une atteinte au niveau du système nerveux central, un gonflement de la glande thyroïde, de la tachycardie, de la dermatographie, des gingivites, des changements hématologiques et une augmentation de l'excrétion urinaire du mercure. Lorsque l'exposition se prolonge, d'autres signes apparaissent comme des tremblements musculaires, qui peuvent dégénérer en spasmes musculaires violents, en changement de personnalité et de comportement, accompagné de pertes de mémoire, d'éréthisme, d'un état dépressif, de délirium tremens et d'hallucination^(1,9).

L'ingestion de composés inorganiques du mercure à doses aiguës peut produire des ulcérations profondes, des saignements et de la nécrose au niveau du

système gastro-intestinal accompagné d'un choc et d'un collapsus circulatoire. En cas de survie, il y aura défaillance du système rénal, caractérisée par une nécrose des cellules épithéliales des tubules proximaux suivie d'oligurie, d'anurie et d'urémie^(1,9).

Les composés inorganiques du mercure (I) sont moins corrosifs et moins toxiques que les composés inorganiques du mercure (II). Les manifestations cliniques qu'on peut observer lors d'intoxications avec ces composés sont: des réactions d'hypersensibilisation au niveau de la peau caractérisées par une vasodilatation de l'hyperkératose et de l'hypersudation des glandes sudoripares^(1,9).

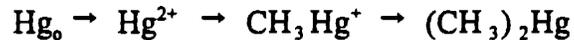
La forme la plus toxique du mercure est le méthylmercure (CH_3Hg). Plusieurs épisodes d'intoxication graves ont été causés par le méthylmercure: maladie de Minamata au Japon, empoisonnement en Irak, etc. Les effets majeurs se trouvent au niveau cérébral chez l'adulte et des fœtus durant la grossesse. Le méthylmercure a été démontré génotoxique chez l'être humain. Il modifie le patrimoine génétique des chromosomes. Les manifestations cliniques observées pour des intoxications graves sont: de la parasthésie, un engourdissement et une sensation de picotement autour de la bouche, des lèvres, et des extrémités (doigts et orteils), de l'ataxie, une démarche titubante, des difficultés de déglutition et d'articulation des mots, de la neurasthénie, une sensation générale de faiblesse, de la fatigue et de l'incapacité à se concentrer, le rétrécissement du champ visuel, des pertes de vision et d'audition, des spasmes, des tremblements et ultimement le coma et la mort^(1,9).

Du point de vue écotoxicologique, le mercure et ses composés sont toxiques pour les différents organismes aquatiques. Tout comme chez l'humain le méthylmercure est le composé le plus toxique. Il a été évalué que la méthylation microbiologique du mercure représente 1% du mercure présent dans les sédiments. Les conditions nécessaires à la méthylation du mercure sont: présence de sédiments eutrophes riches en matières organiques, potentiel



d'oxydo-réduction positif permettant la diffusion de l'oxygène moléculaire et d'un pH légèrement acide (4,5 - 6,5), présence de certains microorganismes et plage de températures adéquates⁽⁷⁾.

Le symbolisme suivant résume d'une façon simplifiée le devenir du mercure métallique en milieu aqueux.



Le temps de demi-vie du diméthylmercure en milieu aqueux à pH 5 est d'environ 33 ans. Sous cette forme, une quantité importante de mercure s'évapore. Le temps de demi-vie du méthylmercure est d'environ 2 ans chez les poissons. De plus, il est important de mentionner que ce produit est directement biodisponible pour les organismes aquatiques puisqu'il traverse facilement les membranes épithéliales⁽⁷⁾.

La bioamplification du mercure dans la chaîne trophique est importante. Chez les poissons prédateurs on peut mesurer des facteurs de bioconcentration jusqu'à 10^4 ⁽⁷⁾.

4.2.8.17 Molybdène

Le molybdène est un élément essentiel au métabolisme de différents organismes vivants. Il joue le rôle de cofacteur pour des réactions enzymatiques chez l'humain et comme élément de base pour fixer l'azote atmosphérique par les bactéries afin de rendre l'azote disponible pour amorcer la synthèse des protéines des plantes. On trouve le molybdène sous forme de sulfure tel que la molybdénite (MoS_2) combinée au minerai de cuivre, sous la forme de molybdate comme le powellite (CuMoO_4) présent avec du scheelite ($\text{Ca}(\text{Mo},\text{W})\text{O}_4$) ou du woulfenite (PbMoO_4) pour les gisements contenant du minerai de plomb^(1,7,13). La moitié de la production mondiale de molybdène provient de la molybdénite et l'autre moitié de l'extraction du cuivre comme sous-produit. La teneur en molybdène dans la croûte

terrestre se situe aux environs de 1,5 mg/kg. Il occupe le 54^e rang quant à son abondance relative⁽¹²⁾. Certaines roches ignées et sédimentaires comme les schistes contiennent du molybdène. L'altération naturelle de ceux-ci constitue une source naturelle importante de molybdène dans l'environnement aquatique.

La masse atomique du molybdène est de 95,94 g/mole. Ses nombres d'oxydation sont: +2, +3, +4, +5 et +6. Dans l'environnement, les espèces tétravalentes et hexavalentes sont prédominantes. En milieu aqueux le sulfure de molybdène (MoS₂) est peu soluble. Il est oxydé rapidement sous la forme de molybdate.

Ses utilisations industrielles sont nombreuses. Plus de 85% du molybdène est consommé par l'industrie des ferroalliages. Les autres utilisations industrielles sont la fabrication de semi-conducteurs, de filaments de résistance et d'électrodes dans l'industrie du verre et des applications où les contraintes thermiques sont importantes (réacteurs nucléaires, turbines à gaz, moteurs d'avion, missiles, etc.). Dans le domaine de la chimie organique et inorganique, le molybdène est utilisé comme catalyseur pour la synthèse de l'ammoniac, pour l'hydrogénation de produits pétroliers non-saturés, pour la production du 1,2-époxy-propane et du cétène. On le retrouve aussi avec le cobalt comme catalyseur de longue durée pour la désulfuration. Certains sels inorganiques sont utilisés à titre de colorants et de stabilisants thermiques pour les plastiques. Le sulfure de molybdène sert de lubrifiant solide pour des applications spécialisées et comme additif dans les huiles de lubrification. Étant considéré comme un élément essentiel à la croissance des plantes, il est ajouté aux engrais pour prévenir les carences en molybdène. Certains composés à base de molybdate moins toxiques que les chromates sont utilisés comme inhibiteurs de corrosion dans les circuits de refroidissement comprenant une tour de réfrigération^(1,2,7,13).

Peu de données existent sur les sources d'émissions industrielles. Les industries des pesticides et d'affinage d'uranium, les mines de molybdène, la formulation d'encre et de peintures sont les sources industrielles mentionnées dans la littérature^(1,7).



À titre d'information, le tableau 4-24 montre des concentrations en molybdène dans les effluents générés par quelques activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Tableau 4-24: Concentrations en molybdène dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽¹⁴⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Industrie des pesticides	0,01-3,8
Affinage d'uranium	7,7
Industrie minière	5,9-13,4
Formulation de peintures	0,03-15
Formulation d'encres	0,1-0,7

La concentration naturelle du molybdène dans les eaux de surface se situe généralement dans une fourchette variant de 0,03 à 10 µg/l⁽⁷⁾ alors que cette concentration est inférieure à 0,01 mg/l dans les eaux salées⁽¹²⁾. Les concentrations plus élevées en molybdène sans apport anthropique sont d'origine schisteuse.

Du point de vue toxicité humaine, le molybdène est un élément essentiel à certaines fonctions métaboliques chez l'humain. Les pathologies observées lors d'exposition à des oxydes de molybdène et des poussières métalliques de molybdène sont des pneumoconioses et des maladies du poumon de "métaux durs"^(1,9).

Au niveau écotoxicologique, les effets les plus importants sont une pathologie nommée molybdénose observés chez les ruminants. Le molybdène est un élément qui peut se bioconcentrer dans les plantes. La molybdénose est une intoxication chronique caractérisée par une perte de poids, de l'anorexie, de l'anémie, une diminution des capacités lactifères, la stérilité chez les mâles, l'ostéoporose et des anomalies au niveau des jointures osseuses. Elle peut se

produire lorsque la concentration du molybdène varie entre 20 et 100 mg/kg de poids sec dans le fourrage^(1,7).

L'adsorption et la coprécipitation de l'anion molybdate sont les principaux phénomènes rattachés au devenir du molybdène en milieu aqueux. À des pH variant entre 3 et 4, le molybdène peut s'adsorber sur des oxydes hydratés ferriques présents dans l'eau. La sorption du molybdène sur des oxydes hydratés d'aluminium sera maximale à un pH de 4,8. Il est nécessaire de préciser qu'au niveau stoechiométrique, l'aluminium doit se trouver en excès. À un pH supérieur à 5, les phénomènes d'adsorption diminuent et le molybdène aboutit sous une forme dissoute dans les eaux naturelles⁽⁷⁾.

Le molybdène peut s'accumuler dans les algues, les plantes vasculaires et les tissus mous des poissons d'eaux douces à faibles teneurs en molybdène. Le facteur de bioconcentration pour le plancton d'eau douce et les sédiments se situe aux environs de 10^3 ⁽⁷⁾.

4.2.8.18 Nickel

Le nickel est un métal important pour la production d'alliages résistants à la corrosion. Les dépôts minéraux d'importance commerciale pour l'extraction du nickel sont des sulfures comme la pentlandite notamment au Canada; il s'agit d'un sulfure de fer contenant entre 3 à 5% de nickel, et de la garnièrite qui est constituée de silicates de nickel et de magnésium. Il existe aussi des minerais de type oxydes comme la limonite, des minerais de type arseniaux tels que la nicolite (NiAs), la chloanthite (NiAs₂), et la gersdoffite (NiAsS)^(1,7,13). Ces derniers, bien que présents au Canada, sont toutefois d'une importance marginale du point de vue commercial⁽⁷⁾.

Le nickel occupe le 23^e rang quant à son abondance dans la croûte terrestre avec une teneur de 75 mg/kg⁽¹²⁾. Cette teneur varie de 1 mg/kg dans le grès à



160 mg/kg dans le basalte et le gabbro et jusqu'à 2000 mg/kg dans les péridotites et les durites⁽⁷⁾.

La masse atomique du nickel est de 58,71 g/mole. Ses nombres d'oxydation sont: -1, 0, +1, +2 et +3. C'est le nombre d'oxydation +2 qui est toutefois le plus courant. Certains sels inorganiques de nickel sont solubles dans l'eau. La solubilité est fonction des différentes conditions rencontrées en milieu aqueux (pH, oxygène dissous, matières organiques en suspension).

Ses utilisations industrielles sont nombreuses et la principale est la fabrication d'alliages dont les caractéristiques principales sont: résistance à la corrosion, résistance mécanique élevée sur un grand intervalle de températures et un aspect esthétique intéressant. À titre indicatif, le tableau 4-25 décrit la composition de ces alliages.

Tableau 4-25: Compositions typiques d'alliages à base de nickel⁽¹³⁾

Noms commerciaux	COMPOSITIONS TYPIQUES (%)										
	Ni	Fe	Cr	Cu	Mo	Mn	Si	C	Al	Ti	Co
Nickel 200	99,5	0,15	-	0,05	-	0,25	0,05	0,06	-	-	-
Monel 400	66,5	1,25	-	3,15	-	1,0	0,25	0,15	-	-	-
Nichrome	77,0	0,5	20,0	-	-	1,0	1,0	0,06	-	-	-
Inconel 600	76,0	8,0	15,5	-	-	0,5	0,2	0,08	-	-	-
Incoloy 800	32,5	46,0	21,0	-	-	0,8	0,5	0,05	0,4	0,4	-
Hastelloy	65,4	2,0	1,0	-	28,0	1,0	0,1	0,02	-	-	2,5
Inconel 718 ¹	52,5	18,5	19,0	-	3,0	0,2	0,2	0,04	0,5	0,9	-
Mar-M200 ²	60,0	-	9,0	-	-	-	-	0,15	5,0	2,0	10,0
Waspaloy ³	58,0	-	19,5	-	4,3	-	-	0,08	1,3	3,0	13,5
Udinet 500 ⁴	54,0	-	18,0	-	4,0	-	-	0,08	2,9	2,9	18,5

1: Contient: 5,1% de Nb

2: Contient: 12% de W, 1,0% de Nb, 0,015% de B et 0,05% de Zn

3: Contient: 0,006% de B

4: Contient: 0,006% de B

On utilise généralement ces alliages dans les applications critiques telles que dans les industries chimiques, navales, électriques, nucléaires et aérospatiales. Sous forme de composés, le nickel sert de catalyseur dans l'industrie pétrolière, dans l'industrie du charbon pour la gaséification et dans la polymérisation de l'acrylique. Les autres utilisations industrielles des composés du nickel sont: production de pigments, dans le domaine de l'électroplacage, à la frappe de la monnaie, à la fabrication de bijoux, de prothèses dentaires et chirurgicales, à la fabrication de piles électriques et comme moules pour l'industrie du verre et de la céramique^(1,2,7,13).

Les principales sources d'émission industrielles de nickel dans l'environnement sont les industries de la production du nickel, de placage au nickel et d'alliages de nickel, dans les industries du revêtement anélectrolytique et dans les eaux de drainage acide des mines. Les eaux usées d'usine de fabrication de sulfate de nickel en contiennent. On peut retrouver du nickel sous la forme ionique stable en milieu aqueux lorsqu'il y a des agents complexants comme de l'ammoniac, de l'EDTA et des cyanures^(2,7).

À titre d'information, le tableau 4-26 montre des concentrations en nickel dans les effluents générés par de nombreuses activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Tableau 4-26: Concentrations en nickel dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	FOURCHETTES DE CONCENTRATION (mg/l)	CONCENTRATIONS MOYENNES (mg/l)
Industries du placage:		
- Caractérisation de 4 industries	2-205	-
- Caractérisation de 5 industries	5-58	24
- Eaux de rinçage	2-900	-
- Grande industrie de placage:		
. avec ségrégation des eaux	-	88
. sans ségrégation des eaux	-	46
- Placage au zinc	45-55	-
- Placage sur polymère	30-40	-



SOURCES INDUSTRIELLES	FOURCHETTES DE CONCENTRATION (mg/l)	CONCENTRATIONS MOYENNES (mg/l)
- Eaux de rinçage (placage au nickel)	99-134	119
- Eaux de rinçage de placage et anodisation	-	3,2
- Eaux de rinçage de placage mixte	0,93-2,2	-
- Placage anélectrolytique au cuivre	0-150	-
Placage d'ustensiles de cuisine:		
- Placage à l'argent	0-30	5
- Déchet acide	10-130	33
- Déchet alcalin	0,4-3,2	1,9
Industrie du traitement de surface:		
- Eaux provenant des déchets mixtes	17-51	-
- Eaux provenant des déchets acides	12-48	-
- Eaux provenant des déchets alcalins	2-21	-
- Fabrication de pièces métalliques	179-184	181
- Décapage du laiton	-	3
- Eaux de rinçage du forgeage	0,77-1,06	-
- Décapage de l'acier	5-10	-
- Décapage de l'acier inoxydable	0,2-400	250
Fabrication d'appareils de bureau:		
- Eaux provenant des déchets de placage	5-35	11
- Eaux provenant des déchets de décapage	6-32	17
Eaux de drainage de mine	0,19-0,51	-
Eaux de drainage acide de mine	0,01-5,6	0,72
Eaux de drainage alcalin de mine	0,01-0,18	0,02
Eaux de drainage de piles de stockage du charbon	1-10	-
Eaux des bassins de cendres volantes	0,06-0,15	-
Eaux acides de bassin de lavage du charbon	-	7,5
Extraction de l'or	1,4-6,5	-
Eaux de nettoyage des tubes de chaudières	0,5-15,8	-
Effluent de teinturerie	-	67,5
Formulation d'encres et de peintures	0-40	0,5
Émaillage de la porcelaine	0,25-67	14
Fabrication du sulfate de nickel	470-890	-
Fabrication du sulfate de cuivre	-	22
Fabrication du dioxyde de titane	-	1,3
Fabrication du dichromate de sodium	0,6-7,8	-



La concentration naturelle du nickel dans les eaux de surface est généralement inférieure à 20 µg/l⁽⁷⁾. Dans les régions minières, cette concentration peut s'élever jusqu'à 11 mg/l⁽⁷⁾. Elle se situe entre 0,1 et 0,4 µg/l dans l'eau de mer⁽¹²⁾. La combustion de combustibles fossiles peut contribuer à augmenter la concentration de base du nickel dans l'environnement par le biais des retombées atmosphériques⁽⁷⁾.

Du point de vue toxicité humaine, le nickel à des concentrations traces est un élément essentiel au métabolisme du glucose. D'autre part, les pathologies rencontrées lors d'exposition au nickel sont de quatre ordres soit: allergies, cancer (poussières, aérosols), problèmes respiratoires et toxicité iatrogénique^(1,9).

Au niveau écotoxicologique, le devenir du nickel est fonction de paramètres tels que le pH, l'oxygène dissous, la présence d'autres éléments (fer, manganèse, silice), les matières en suspension et les matières organiques. Les composés de nickel sont relativement solubles à des pH inférieurs à 6,5, tandis qu'à des pH supérieurs à 6,7, le nickel se retrouve sous forme insoluble. Les pluies acides peuvent dissoudre le nickel contenu dans le sol et par le fait même augmenter le nickel biodisponible aux différents niveaux trophiques. Les sédiments aquatiques peuvent contenir du nickel à des concentrations plus importantes que l'eau. Il peut être remis en solution par l'activité de certains microorganismes en conditions aérobies. Le nickel peut coprécipiter avec des oxydes de fer et de manganèse et se fixer sur de la matière organique⁽⁷⁾.

4.2.8.19 Plomb

Le plomb est l'un des plus vieux métaux utilisés par l'homme. Ses propriétés physiques, sa malléabilité et sa résistance à la corrosion ainsi que son abondance ont fait qu'il était grandement utilisé. Des statuettes de plomb ont été fabriquées aux alentours de 3800 av. J.-C. Il était connu des Égyptiens et des Hébreux. Il pouvait être obtenu comme sous-produit du grillage du minerai d'argent extrait de mines en Espagne voilà plus de 4000 ans. Hippocrate (370 av. J.-C.) a décrit



certaines maladies reliées à l'exposition au plomb de travailleurs oeuvrant dans des mines de plomb^(1,9). Le plomb occupe actuellement le 5^e rang quant à son utilisation industrielle après le fer, le cuivre, l'aluminium et le zinc⁽⁷⁾.

On trouve du plomb dans plus de 200 minerais dont certains sont rares. Les minerais d'un intérêt commercial sont toutefois limités. Ceux-ci sont sous la forme de sulfure, la galène (PbS), de sulfates (PbSO₄) et de carbonates, la cérusite (PbCO₃), la crocoïte (PbCrO₄) et la morphite (PbCl₂ · 3[Pb₃(PO₄)₂])^(1,7). La teneur en plomb dans la croûte terrestre se situe aux alentours de 12,5 mg/kg ce qui lui confère le 36^e rang quant à son abondance relative⁽¹²⁾. Les roches sédimentaires qui contiennent du plomb sont le grès à des teneurs de 7 mg/kg, l'argile litée à 20 mg/kg et le calcaire à 9 mg/kg⁽⁷⁾.

La masse atomique du plomb est de 207,19 g/mole. Ses nombres d'oxydation sont: 0, +1, +2 à +4. Le nombre d'oxydation +2 est le plus courant dans l'environnement quoique les espèces 0, +4 peuvent être d'un intérêt certain du point de vue écotoxicologique. Les composés du plomb sous forme de sulfures, sulfates, oxydes, carbonates et hydroxydes sont pratiquement insolubles en milieu aqueux. Le plomb est soluble sous forme d'halogénures. Il est toutefois éliminé de la solution par son adsorption sur diverses substances telles que les sédiments, les matières en suspension constituées de matières organiques, les oxydes hydratés et les argiles⁽⁷⁾.

Ses utilisations industrielles sont nombreuses. Comme métal, il est utilisé pour enduire les parois des réservoirs contenant des liquides corrosifs, pour fabriquer des gaines pour les fils électriques, pour confectionner des équipements de protection contre les rayons ionisants, dans les alliages pour la soudure, dans la fabrication d'accumulateurs automobiles et comme matériau insonorisant. Les composés à base de plomb sont utilisés dans le domaine de la peinture, pour la fabrication du verre plombifère, à titre de stabilisants thermiques et de colorant dans les plastiques et le caoutchouc, dans la fabrication d'explosifs, comme pigments et glaçures pour la céramique, additifs antioxydants dans les huiles

lubrifiantes. On peut aussi retrouver certains composés du plomb comme catalyseurs dans la fabrication de plastiques de la famille des polyesters. En Amérique du Nord, le tétraéthylplomb a été banni comme agent antidétonant dans l'essence. Ce composé a été longtemps la plus grande source de plomb dans l'environnement due à la retombée des particules émises pendant la combustion des carburants contenant notamment du tétraéthylplomb que la nouvelle nomenclature désigne par le mot tétraéthylplumbane^(1,2,7,13).

Les principales sources d'émissions industrielles de plomb dans l'environnement sont les industries de fabrication et de récupération d'accumulateurs, les industries de galvanoplastie, les industries de fabrication de pigments, l'industrie de l'électronique et de l'extraction minière⁽²⁾.

À titre d'information, les tableaux 4-27 et 4-28 montrent des concentrations en plomb dans les effluents rejetés par différentes activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fin d'analyse.

Tableau 4-27: Concentrations en plomb dans les eaux de drainage acide de mine⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	pH	CONCENTRATIONS (mg/l)
Étang de sédimentation	2,0	0,67
Eaux de drainage	2,6	0,3
	3,2	2,5
	-	0,02
	2,5-2,9	1,6-4,5
	2,0-3,4	1,4-4,6
	2,9-3,5	0,9-3,1
	-	0,04-0,5

La concentration naturelle du plomb dans les eaux de surface varie entre 1,0 et 10,0 µg/l⁽⁷⁾. La concentration du plomb dans l'eau salée se situe aux environs de 0,03 µg/l⁽¹²⁾.

Tableau 4-28: Concentrations en plomb dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Fabrication d'accumulateurs:	
- Particules de plomb	0,4-66,5
- Plomb soluble	0,5-25
Fabrication d'accumulateurs	11,7-319,4 11,7
Placage	0,2-140
Solution de bain de décapage	10
Fabrication de tubes cathodiques	380-400
Fabrication de circuits imprimés	1,65
Fabrication du verre	0,43-100
Émaillage de la porcelaine	2,9
Usine de chlore-alcali	1160
Eaux de procédés de mines	0,018-0,098
Fabrication de munitions	6,5
Fabrication du tétraéthylplomb:	
- Plomb organique	126,7-144,8
- Plomb inorganique	66,1-84,9
Encre usée	94
Formulation de peintures	1,1-10
Formulation d'encres et de peintures	86
Fabrication de pigments	0,2-843
Teinturerie	8,4
Acierie-procédé du dégazage sous vide	0,47-1,39
Fabrication de tuyaux de caoutchouc	63
Fonderie	7,7-170
Usinage de joints d'étanchéité de piston	94,6

Du point de vue toxicité humaine, le plomb est considéré toxique pour l'humain, avec des pathologies plus importantes chez les enfants. Celles-ci sont caractérisées par des encéphalopathies accompagnées de léthargie, des vomissements, l'irritabilité, la perte d'appétit, des vertiges, l'ataxie et la diminution de conscience qui peut ultimement causer le coma et la mort. Si le sujet traité survit, il peut

subsister des séquelles du type épilepsie, déficience mentale, problème de vision ou cécité. Le plomb traverse la barrière placentaire. Il peut avoir un effet toxique sur le fœtus. Il peut aussi générer des pathologies au niveau rénal. Celles-ci peuvent être de deux types. D'une part, on peut observer des dysfonctions au niveau tubulaire rénal chez des enfants exposés de façon aiguë au plomb. Ces phénomènes peuvent être réversibles^(1,9).

Le plomb et ses composés inorganiques sont classifiés 2B (cancérogène possible pour l'être humain)⁽¹⁰⁾ et les composés organiques du plomb sont classifiés 3 (classifiés non-cancérogènes pour l'être humain)⁽¹⁰⁾.

Du point de vue écotoxicologique, le plomb est bioaccumulé par les organismes aquatiques. L'adsorption du plomb sous la forme d'hydroxydes insolubles sur des particules à des pH de 5 à 7 est le mécanisme principal qui régit le devenir du plomb en milieu aqueux. En général, on retrouve une grande quantité de plomb dans les sédiments (9-314 mg/kg de poids sec). À des pH entre 5 et 6, le plomb est présent sous la forme d'espèces cationiques stables⁽⁷⁾.

Les bactéries benthiques peuvent bioaccumuler le plomb par un facteur variant entre 20 et 360 fois. À certains endroits, on a mesuré des facteurs de bioaccumulation de 10^6 pour le phytoplancton. Certaines études ont démontré que la bioaccumulation du plomb est plus importante lorsque le pH est faible. Il n'y a pas de bioamplification du plomb dans la chaîne trophique⁽⁷⁾.

4.2.8.20 Sélénium

La découverte du sélénium remonte à l'année 1817. Le sélénium tire son nom du mot grec séléne qui signifie lune du fait de sa ressemblance avec le tellure dont l'origine du mot provient du mot latin tellus qui signifie terre. Sous la forme de sélénium gris, sa conductivité électrique varie avec la lumière reçue, d'où son utilisation dans la fabrication de cellules photoélectriques^(1,7). Il occupe le 68^e rang



quant à son abondance dans la croûte terrestre avec des teneurs de 0,05 mg/kg⁽¹²⁾. On le trouve généralement avec des minéraux contenant du soufre. Le sélénium est obtenu surtout comme sous-produit de l'affinage du cuivre. Il n'y a pas de minerai commercialement exploitable pour produire le sélénium.

La masse atomique du sélénium est de 78,96 g/mole. Ses nombres d'oxydation sont: -2, 0, +4 ou +6. Le sélénium peut former des composés organiques ou inorganiques similaires à ceux du soufre et du tellure. Les composés inorganiques du sélénium les plus courants sont des séléniures, halogénures, oxydes et oxyacides. Sous forme de composés organiques, ils s'apparentent aux organosulfurés et aux organotelluriques.

Les utilisations industrielles du sélénium sont nombreuses. Sous forme de métal, il entre dans la composition d'alliages produits par les industries des ferroalliages, d'alliages de cuivre, de nickel, de cobalt et de plomb et pour le placage au chrome. Ses propriétés diélectriques font qu'on le retrouve dans les alliages utilisés pour fabriquer des cellules photoélectriques, les piles photovoltaïques, les redresseurs de courant et dans le procédé de photocopie. Le sélénium et ses composés peuvent entrer dans la composition du verre, de la céramique à titre de pigments, du caoutchouc et des lubrifiants, dans la synthèse de produits organiques (insecticide, shampoing, etc.) et pharmaceutiques et dans le domaine de la médecine et de la nutrition^(1,2,7,13).

Les principales sources d'émissions industrielles de sélénium dans l'environnement sont l'affinage du cuivre et du zinc et les industries de l'émaillage de la porcelaine⁽²⁾.

À titre d'information, le tableau 4-29 montre des concentrations en sélénium dans les effluents générés par certaines activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Tableau 4-29: Concentrations en sélénium dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Effluents de teinturerie	0,02
Effluents du bassin des cendres des centrales thermiques au charbon	0,05
Effluents d'aciérie	0,004-0,01
Eaux de drainage acide de mine	0,93-1,17
Affinage d'uranium	1,2-1,35
Affinage du zinc	30-400
Émaillage de la porcelaine	28,7
Affinage du cuivre:	
- Solution stérile	50-500
- Filtrat neutralisé de lixiviation caustique	100-1000
- Eaux de flottation	1000-5000

La concentration naturelle de sélénium dans les eaux de surface est généralement inférieure à 1,0 µg/l⁽⁷⁾. Dans les eaux salées, cette concentration est plus basse et se situe aux environs de 0,09 µg/l⁽¹²⁾.

Du point de vue toxicité humaine, le sélénium est un élément essentiel à de nombreuses réactions enzymatiques et métaboliques. Toutefois, comme tous les éléments essentiels, une surdose peut produire des pathologies. Les intoxications au sélénium sont caractérisées par les manifestations cliniques suivantes: cheveux cassants avec follicules intacts, repousses de cheveux sans pigment, ongles cassants avec taches et stries longitudinales. Les symptômes neurologiques associés à une exposition au sélénium sont des engourdissements au niveau périphérique, de l'acroparasthésie, des douleurs et de l'hyperréflexie. Dans certaines régions, les personnes exposées au sélénium souffraient de problèmes gastro-intestinaux et de décoloration ictérique de la peau^(1,9). Le sélénium et ses composés sont classifiés 3 (non-cancérogènes pour l'être humain)⁽¹⁰⁾.



Au niveau écotoxicologique, le sélénium est un élément essentiel aux mammifères mais non aux plantes. Le sélénium se bioaccumule dans de nombreuses plantes dont les plantes céréalières⁽⁷⁾.

Chez le bétail, exposé à des concentrations importantes de sélénium provenant du fourrage, on a observé des problèmes de vision, une diminution de l'appétit et une tendance à tourner en rond. Du fait qu'il s'accumule dans la chaîne alimentaire, les êtres humains peuvent être exposés à des doses excessives de sélénium^(7,9).

De nombreux phénomènes régissent le devenir du sélénium en milieu aqueux. Sous la forme de séléniures (Se^{2-}), composés inorganiques et organiques, ceux-ci sont insolubles dans l'eau ou se décomposent rapidement en milieu aérobie pour donner du sélénium élémentaire insoluble. Le phénomène précédent semble être la principale voie d'élimination du sélénium. À pH variant entre 3,5 et 9,0 le sélénium est présent sous la forme de l'ion trioxosélénate (SeO_3^{2-}). Celui-ci a une grande affinité pour les sesquioxydes de fer et d'aluminium et forme des complexes stables. Sous la forme d'ions tétraoxosélénates (SeO_4^{2-}), ces composés peuvent être complexés par les sesquioxydes, qui sont solubles et biodisponibles pour les organismes aquatiques. Certaines bactéries peuvent méthyler le sélénium. Ces composés peuvent se volatiliser; le phénomène constitue une source d'élimination du sélénium dans un cours d'eau⁽⁷⁾.

Certaines plantes d'eau douce peuvent bioaccumuler le sélénium jusqu'à 800 fois la concentration du milieu. Ce facteur de bioconcentration peut varier entre 8 et 400 pour les invertébrés et les poissons d'eau douce. La bioamplification du sélénium dans les différents niveaux trophiques d'un milieu aquatique est faible⁽⁷⁾.

4.2.8.21 Sulfure d'hydrogène

Le sulfure d'hydrogène (H_2S) est un produit toxique sous la forme gazeuse tandis que dissous et en faibles concentrations dans l'eau, on lui prête des vertus médicinales^(1,9).

Le sulfure d'hydrogène d'origine naturelle est formé par la réduction bactérienne des sulfates en conditions anaérobies. Il est caractérisé par une odeur d'oeuf pourri. Les boues, les marais sont des milieux propices à la production du sulfure d'hydrogène.

Ses utilisations industrielles sont nombreuses. Il est utilisé avec d'autres sulfures solubles dans la fabrication de pigments, de colorants, dans le tannage, le traitement chimique et la fabrication de cosmétiques. Le sulfure d'hydrogène est également utilisé dans la fabrication de l'eau lourde, dans la purification des acides chlorhydrique et sulfurique, dans la précipitation des sulfures métalliques, dans la production du soufre élémentaire, des mercaptans, de l'éthylène, du nylon, de la soude, du sulfure acide de sodium et autres produits. Il est aussi utilisé à titre de réactif en chimie analytique^(1,7,13).

Il existe peu de données dans la littérature sur les rejets industriels de sulfure d'hydrogène. Sa concentration dans l'environnement est généralement faible. On trouve des concentrations en sulfure d'hydrogène de 0,07 mg/l dans les 20 premiers centimètres au-dessus de fond boueux où il y a des conditions favorables à une fermentation anaérobie⁽⁷⁾.

Il est cependant important de mentionner que le sulfure d'hydrogène est un composé qui fait l'objet d'une surveillance étroite dans les réseaux d'égouts municipaux. D'une part, sa toxicité sous forme gazeuse n'est plus à démontrer, de nombreux accidents mortels impliquant le sulfure d'hydrogène dans des trous d'homme ont été dénombrés. Ces accidents sont causés par le fait qu'à hautes



concentrations, il insensibilise d'abord les facultés olfactives et cause ensuite une asphyxie chimique⁽⁹⁾.

Les industries des pâtes et papiers utilisant le procédé Kraft, les raffineries de pétrole, les tanneries et les usines d'hydrogénation et de gazéification du charbon peuvent générer du sulfure d'hydrogène. À titre d'information, le tableau 4-30 montre des concentrations mesurées dans les effluents de certaines activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Tableau 4-30: Concentrations en sulfure d'hydrogène dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽¹⁵⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Effluent final des raffineries de pétrole	0,1-0,44
Industrie des pâtes et papier:	
- pâte Kraft	0,17-2,5
- pâte thermomécanique	0,1-1,3
- pâte chimique (bisulfite)	0,68-3,25
Effluent final d'une aciérie	0,06
Industrie d'affinage du cuivre	0,3
Production de pigments de titane (procédé à l'acide sulfurique)	0,73-1,4

Du point de vue toxicité humaine, le sulfure d'hydrogène est considéré comme toxique. C'est un asphyxiant chimique, le mécanisme d'action est la paralysie du centre de la respiration. À des concentrations plus faibles, il peut causer des atteintes au système nerveux, des conjonctivites et des oedèmes pulmonaires^(1,9).

Du point de vue écotoxicologique, c'est la forme H₂S non-dissociée qui est la plus toxique pour les organismes aquatiques. À pH faible, le sulfure d'hydrogène ne sera que faiblement dissocié, tandis qu'à un pH supérieur à 9,8 l'ion sulfure prédomine nettement⁽⁷⁾. La figure 4-6 illustre la répartition des différentes formes

des sulfures en fonction du pH. En condition aérobie, les sulfures sont oxydés en sulfates.

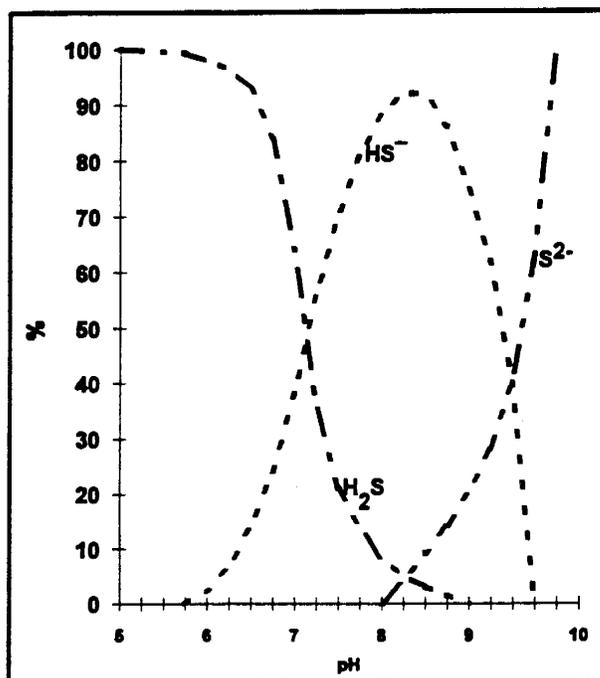


Figure 4-6: Formes des sulfures en fonction du pH

4.2.8.22 Titane

Le titane sous forme métallique est un métal qu'on peut qualifier de matériau de l'ère spatiale. En effet, ses propriétés mécaniques et thermiques font qu'il est très utilisé dans les applications aérospatiales et aéronautiques. Sous la forme d'oxyde de titane, c'est le composé du titane le plus utilisé. On le trouve dans la croûte terrestre sous la forme d'ilménite (FeTiO_3) et de rutil (TiO_2)^(1,7,13). Il peut se retrouver comme composant secondaire dans des dépôts d'hématite sous forme de silicates tels que le sphère (CaTiSiO_5) et de trioxyde de calcium titane (CaTiO_3)^(1,7,13). Il occupe le 9^e rang quant à son abondance relative dans la croûte terrestre. La teneur en titane se situe aux environs de 5000 mg/kg⁽¹²⁾.

La masse atomique du titane est de 47,90 g/mole. Ses nombres d'oxydation sont: -1, 0, +2, +3 à +4. C'est toutefois la forme tétravalente qui est la plus stable et la plus courante. Les composés de nombres d'oxydation inférieurs sont facilement oxydés sous la forme tétravalente.

Ses utilisations industrielles sont nombreuses. La plus importante est, sans contredit, la fabrication de peintures et de laques dans lesquelles on incorpore de l'oxyde de titane (TiO_2). Il est utilisé comme pigment blanc, dans le couchage du papier et dans les plastiques. Son absence de toxicité fait en sorte qu'il est le pigment blanc le plus utilisé dans le domaine alimentaire et les produits de beauté. Il entre dans la composition de colorants en confiserie, dans les produits laitiers et dans la farine panifiable^(1,7,13). Sous forme de chlorure de titane (IV) (TiCl_4), il est utilisé comme constituant et catalyseur dans l'industrie chimique et à titre d'intermédiaire dans la production du titane métallique. Le chlorure de titane (III) (TiCl_3) est utilisé comme colorant et catalyseur en polymérisation. Sous sa forme métallique, ses propriétés anti-corrosives, sa résistance mécanique et son faible poids font qu'il est utilisé dans de nombreux domaines comme l'avionnerie, le matériel spatial, l'industrie chimique et métallurgique, les industries du papier, les centrales thermiques et les applications marines^(1,13).

La principale source d'émission industrielle est, sans contredit, les usines de dioxyde de titane (TiO_2). À titre d'information, le tableau 4-31 montre des concentrations en titane dans les effluents générés par quelques activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Tableau 4-31: Concentrations en titane dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)^(14, 15)

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Tanneries	0,42-1,64
Centrale thermique au charbon (effluent du bassin d'entreposage)	1,76
Production du bioxyde de titane (procédé à l'acide sulfurique)	
- Section blanche:	
Titane total	1,8-2,9
Titane dissous	0,02-0,05
- Effluent final:	
Titane total	114,3-245,0
Titane dissous	119,4-259,4
Production du bioxyde de titane (procédé mixte chlorures et sulfates)	
- Effluent final:	
Titane total	40-55
Titane dissous	37-55
Formulation de peintures	0,08-210

La concentration naturelle du titane dans les eaux de surface varie entre 2 et 107 µg/l pour l'eau douce⁽⁷⁾ et de 0,6 à 1,0 µg/l dans l'eau salée⁽¹²⁾.

Du point de vue toxicité humaine, l'exposition de travailleurs au dioxyde de titane sous forme de poussière n'a produit que de légères fibroses pulmonaires. Du point de vue physiologique, le dioxyde de titane est considéré comme inerte par toutes les voies d'exposition (ingestion, inhalation, contact, parentérale). Sous la forme métallique ou de sels, le titane est considéré non-toxique à l'exception de l'acide (trétraoxotitanate de dihydrogène) qui pourrait produire une irritation^(1,9). Le dioxyde de titane a la classification 3: classifié comme non-cancérogène pour l'humain⁽¹⁰⁾.

Au niveau écotoxicologique, le titane n'est pas considéré comme un élément essentiel aux plantes et aux animaux. Il se bioaccumule dans plusieurs organismes vivants. On en retrouve dans les tissus durs silicieux. Des teneurs variant entre 1,5 à 56 mg/kg dans les plantes terrestres, entre 0,02 à 3 mg/kg dans les légumes, entre 1 et 2 mg/kg dans les muscles des mammifères, entre 3 et



40 mg/kg dans les algues marines et aux environs de 0,2 mg/kg chez les poissons ont été mesurées^(1,7).

Le devenir du titane en milieu aqueux est surtout lié à sa forme tétravalente. Les composés tels que les halogénures de titane sont hydrolysés généralement sous forme de TiO_2 . Celui-ci se retrouvera sous forme hydratée à l'état colloïdal ou précipité et ce, au pH normal du milieu naturel. En milieu fortement alcalin, il pourra y avoir formation d'ions trioxotitanates (TiO_3^{2-}). Il n'existe pas de critère de qualité de l'eau pour le titane, compte tenu de sa faible toxicité⁽⁷⁾.

4.2.8.23 Vanadium

Le vanadium est omniprésent dans l'environnement. On le trouve dans plus de 68 minéraux. Il occupe le 20^e rang quant à son abondance naturelle dans la croûte terrestre à des teneurs de 110 mg/kg⁽¹²⁾. Les principales sources minérales de vanadium sont la patronite (VS_4), la vanadinite (composé du type $(Pb, Zn, Cu)_2(OH)VO_4$, la carnotite [$K_2 (UO_2)_2 V_2 O_8 \cdot 3H_2O$] et comme résidu dans la titanomagnétite^(1,7,13). Ces sources comptent pour plus de 80% de la production mondiale de vanadium. Le pétrole brut peut contenir des traces importantes de vanadium (entre 1 et 1600 mg/kg)^(1,13).

La masse atomique du vanadium est de 50,942 g/mole. Ses nombres d'oxydation sont: 0, +1, +2, +3, +4 et +5. Dans l'environnement, on retrouve surtout le vanadium sous forme d'oxyde de vanadium (V) (V_2O_5). Les composés de vanadium divalents et trivalents sont basiques, tandis que les composés tétravalents et pentavalents sont amphotères. Le vanadium sous la forme V^+ est plutôt rare et d'intérêt limité.

Les utilisations industrielles du vanadium sont relativement limitées. Le domaine de la métallurgie consomme 90% du vanadium produit sous la forme de ferrovandium (acier utilisé dans les procédés de combustion, outils, matrices et ressorts, et comme élément dans les alliages très résistants à base de titane). Il sert aussi

comme catalyseur dans l'industrie pétrolière, pour la production de plastiques, d'acide sulfurique, d'acide nitrique, sous forme de composés à titre de colorants, dans les encres et la peinture. Les propriétés physiques du vanadium font qu'il est un métal de prédilection dans le domaine de la supraconductivité^(1,13).

Peu de données existent sur les sources d'émissions industrielles. Les industries métallurgiques, telles que les alumineries et les industries du fer et du titane, les industries de production de pigments de titane, les effluents de mines d'uranium et les industries des encres et de la peinture sont les principales sources industrielles d'émission de vanadium⁽¹⁴⁾.

À titre d'information, le tableau 4-32 montre des concentrations en vanadium dans les effluents générés par différentes activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Tableau 4-32: Concentrations en vanadium dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽¹⁴⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Industrie des pâtes et papiers	0,013-0,016
Industrie du fer et du titane	1,1-3,0
Industrie de production de pigments de titane:	
- Procédé au chlore	9,2-16,5
- Procédé à l'acide sulfurique	26,3-40,1
Aluminerie	0,09-1,0
Effluent de mine d'uranium	0,1-0,2
Formulation d'encres	0,05-0,6
Fabrication de peintures	0,05-11,4

La concentration naturelle du vanadium dans les eaux de surface se situe dans une fourchette variant entre 1 µg/l à 110 µg/l⁽⁷⁾. La concentration du vanadium dans l'eau de mer se situe aux environs de 2,5 µg/l⁽¹²⁾. La principale source d'émission naturelle du vanadium est l'érosion superficielle.



Du point de vue toxicité humaine, le vanadium est considéré comme peu toxique. Nous le retrouvons à l'état de trace dans les aliments comme le lait, les fruits de mer, les céréales et les légumes. Son affinité naturelle pour les huiles et graisses font qu'on peut en retrouver de grandes quantités dans les aliments gras. L'eau potable et l'air sont aussi des facteurs d'exposition. La principale voie d'excrétion du vanadium est la voie urinaire. Des manifestations cliniques telles que des problèmes gastro-intestinaux, des nausées, des vomissements, des douleurs abdominales, des palpitations cardiaques, des tremblements, de la dépression nerveuse et des dommages au niveau rénal ont été reliées à l'exposition au vanadium. Une exposition aiguë au vanadium est caractérisée par une atteinte du système nerveux, des hémorragies, de la paralysie, des convulsions et une dépression du système respiratoire^(1,9).

Au niveau écotoxicologique, le vanadium affecte plusieurs niveaux trophiques. La germination et la croissance des plantes peuvent être affectées par des concentrations importantes de vanadium dans les sols. Au niveau des microorganismes présents dans le sol une concentration de 140 mg/kg de vanadium favorise la croissance, tandis qu'une concentration variant entre 260 et 280 mg/kg inhibe certaines activités enzymatiques de ces microorganismes⁽⁷⁾.

Au niveau aquatique, le vanadium, à des concentrations de 100 à 500 µg/l, peut favoriser la croissance des algues (stimulation de la croissance et augmentation de la production de chlorophylle) tandis qu'à des concentrations plus élevées, il peut se produire des phénomènes d'inhibition. Au niveau benthique les tuniciers peuvent bioaccumuler de 10⁵ à 10⁶ fois le vanadium présent dans l'eau. En général, le vanadium n'est pas bioamplifié dans la chaîne trophique⁽⁷⁾.

4.2.8.24 Zinc

Le zinc est un métal omniprésent dans l'environnement. De nombreux aliments en contiennent (fruits de mer, viande, céréales à grains entiers, produits laitiers, noix et légumineuses). Il occupe le 24^e rang quant à son abondance relative dans

la croûte terrestre avec une teneur de 70 mg/kg⁽¹²⁾. Le zinc se trouve dans plus de 55 minerais. Les principaux minerais exploités à des fins commerciales sont: la sphalérite (ZnS cubique), la wurtzite (ZnS hexagonal), la smithsonite ou calamine (ZnCO₃) et l'hémimorphite (Zn₄Si₂O₇(OH)₂H₂O)^(1,7,13). Le zinc peut se trouver à titre de constituant secondaire dans certains minerais tels que la magnétite, la pyroxène, les amphiboles, la biotite, la spinelle, la garnet et la staurolite.

La masse atomique du zinc est de 65,37 g/mole. Son nombre d'oxydation est +2. Le zinc a un comportement amphotère en milieu aqueux. En milieu acide, il est sous la forme Zn²⁺ et en milieu fortement alcalin, il se trouve sous la forme Zn(OH)₄²⁻.

Les utilisations industrielles du zinc sont nombreuses. La répartition relative de la production globale de zinc est de 35% pour la galvanisation de pièce de fer et d'acier (zingage), 25% à titre d'élément d'alliages servant à la fabrication de pièces pour le moulage sous pression et 20% comme élément d'alliage pour le laiton et les bronzes spéciaux. Les autres utilisations du zinc sont: la fabrication de plaques et bandes pour les piles sèches, les revêtements de toiture, les accessoires de décoration extérieures des édifices et certains procédés d'imprimerie^(1,2,7,13).

Le zinc et certains de ses composés servent à préparer divers produits; l'oxyde de zinc est utilisé lors de la production de pneus, de peintures et de céramiques. Le zinc entre dans la composition de nombreux composés organiques et inorganiques utilisés dans le domaine de la production de plastique (sulfate de zinc), de piles électriques (chlorure de zinc), des cathodes pour les tubes à rayons X (sulfure de zinc et silicate de zinc), de la préservation du bois (chromate de zinc), à titre de supplément diététique pour les animaux de ferme (carbonate de zinc), comme retardant pour le feu (borate de zinc), comme antiseptique (acétate de zinc, permanganate de zinc et peroxyde de zinc), comme raticides (phosphine de zinc). On retrouve les composés organozinciques dans les fongicides, les antibiotiques topiques et les lubrifiants^(1,2,7,13).



Les principales sources d'émissions industrielles de zinc dans l'environnement sont les industries de galvanisation, les industries de transformation et de placage du zinc et du laiton, les industries des fibres et de la viscosité de rayonne et les industries de la pâte de bois et du papier journal. Les industries de pigments peuvent produire des rejets importants de chromate de zinc. Les eaux de drainage acide de mine peuvent contenir de fortes concentrations de zinc⁽²⁾.

À titre d'information, le tableau 4-33 montre des concentrations en zinc dans les effluents générés par de nombreuses activités industrielles. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.

Tableau 4-33: Concentrations en zinc dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Déchet de bains de brillantage	0,2-37,0
Usine de laiton	8-1463
Bains de décapage	0,5-41,4
Bains de décapage de tréfileries	36-374
Eaux de rinçage d'usine d'électro galvanisation	500
Solutions de bains de phosphatage	1000-3000
Eaux de rinçage de revêtement par conversion chimique	30,7
Industrie du placage	2,4-930
Placage au chrome	245-1050
Placage au nickel	30
Placage au zinc	23,2-480
Placage au laiton	10-60
Placage sur pièce de zinc	3-8
Galvanisation à froid (acier)	2-88
Anodisation et placage	0,3-33
Eaux de lixiviation de déchets de placage à l'argent	0-25
Eaux de lixiviation de déchets acides de placage à l'argent	5-220
Eaux de lixiviation de déchets alcalins de placage à l'argent	0,5-5,1

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Eaux de lixiviation de déchets de rayonne	20-1000
Production de latex	33-975
Vulcanisation	100-300
Purge des tours de refroidissement	0,5-6
Eaux de lixiviation de déchets provenant du nettoyage de chaudières à vapeur	0,5-15,8
Effluents d'épurateur à voie humide d'ordures ménagères	650
Effluents d'usine de formulation de peintures	0,3-77,4
Eaux de lavage des bassins de formulation d'encres	0,1-4,9
Effluents de teinturerie	2-6
Fabrication de pigments au chrome	0-1702
Production d'acide fluorhydrique	0,84
Production du bisulfite de sodium	1,3
Raffinage de pétrole	0,04-1,84
Effluents d'épurateurs à voie humide d'industries de ferro-alliages	3-89
Effluent d'épurateurs à voie humide de four de grillage de métaux non-ferreux	114
Grillage du minerai de plomb	0,4-9,9
Fabrication de piles au plomb	54,5
Usine d'extraction d'or	1,5
Fonderie de métaux ferreux	36-162
Aciérie (haut-fourneau)	2,1-1210
Aciérie-section de dégazage	1-23
Grillage et affinage primaire du cuivre:	
- Purge de l'usine d'acide	0,8-37
- Eaux de lavage de l'usine d'arsenic	
Affinage secondaire du cuivre	3-2000
Usines de grillage de zinc:	
- Effluent combiné	11-48000
- Usine d'acide	
- Usine de récupération	
Effluents d'épurateurs à voie humide de cubilot d'acier de récupération	135-316
Drainage de mine de charbon	0,01-5,6
Effluents acides du nettoyage du charbon	16
Effluent de mine	138



La concentration naturelle de zinc dans les eaux de surface est généralement inférieure à 0,1 mg/l⁽⁷⁾. La concentration du zinc dans l'eau salée se situe aux environs de 4,9 µg/l⁽¹²⁾.

Du point de vue toxicité humaine, le zinc est considéré comme étant un métal essentiel du point de vue nutritionnel. Il y a donc peu de pathologies reliées à une exposition au zinc. Les mécanismes homéostatiques se chargent de la régulation des concentrations de zinc dans l'organisme humain. Il est impliqué dans plus de 70 réactions métallo-enzymatiques à titre de cofacteur^(1,9).

Les seules manifestations cliniques liées à l'ingestion de doses excessives de zinc ont été un dérangement au niveau gastro-intestinal et des diarrhées^(1,9).

Au niveau écotoxicologique, le zinc peut se trouver en suspension, en solution sous forme d'ions simples hydratés, de composés inorganiques (ZnCO₃), de complexes organiques stables, adsorbé sur des colloïdes inorganiques (argile) ou organiques (acides humiques). La proportion des différentes formes des espèces chimiques contenant du zinc est fonction du pH de l'eau, de la quantité totale de zinc dans l'eau, de la présence d'autres ions métalliques et d'autres composés inorganiques et organiques⁽⁷⁾.

Les facteurs de bioconcentration du zinc dans les plantes et les poissons d'eau douce sont de l'ordre de 10³ et de 10⁴ pour les invertébrés d'eau douce. Le rôle du zinc au niveau des réactions de synthèse des acides nucléiques est tout aussi important chez les organismes marins que chez l'homme⁽⁷⁾.

4.2.8.25 Chlore et chlorures

Le chlore n'a pas été inclus dans la liste des substances inorganiques toxiques présentée dans le tableau 4-7 même si ses dérivés sont l'objet d'une préoccupation environnementale importante.

Il est cependant introduit maintenant dans ce guide puisqu'il est utilisé fréquemment, de même que quelques-uns de ses composés, soit pour prévenir la contamination de l'eau potable (désinfection au chlore), soit pour permettre de recirculer l'eau de refroidissement et l'eau des piscines (désinfection à l'hypochlorite de sodium), soit pour dépolluer partiellement certaines eaux usées industrielles (oxydation des cyanures par l'ajout d'hypochlorite de sodium, réduction de la charge organique ou encore la déphosphatation chimique par le chlorure de fer (III) ou par le chlorure d'aluminium). Ces traitements de dépollution sont expliqués dans les sections 7.4.2 et 7.4.3 de ce guide.

Dans ce qui suit on traite d'abord de l'usage du chlore dans les usines de production de l'eau potable avant de signaler quelques usages industriels importants. Les chlorures constituent une catégorie de produits fréquemment employés, quelques informations sont donc fournies à propos de leur présence dans les effluents industriels.

Les usines de filtration, productrices d'eau potable utilisent des quantités importantes de chlore pour désinfecter l'eau. La série des traitements dans le domaine de la production de l'eau potable a été modifiée ces dernières années. La préchloration de l'eau brute peut favoriser la formation de produits organochlorés tel que le chloroforme qui est un cancérigène possible pour l'être humain et des chlorophénols qui donnent un goût désagréable à l'eau potable. Elle a été remplacée par un traitement au dioxyde de chlore ou par une pré-ozonation. La chloration de l'eau potable, aussi appelée post-chloration, est toujours exigée afin de maintenir



la présence d'un agent bactéricide dans le réseau de distribution et ainsi empêcher la prolifération d'organismes pathogènes (bactéries, virus)^(1,7).

Les spécialistes de la production de l'eau potable ont développé la théorie de la chloration au point critique afin d'expliquer la formation de monochloramines et de dichloramines puis la présence de chlore libre. La figure 4-7 traduit les phénomènes qui se produisent successivement lorsque l'eau contient des agents réducteurs, des matières organiques non azotées, de l'azote ammoniacal, etc.

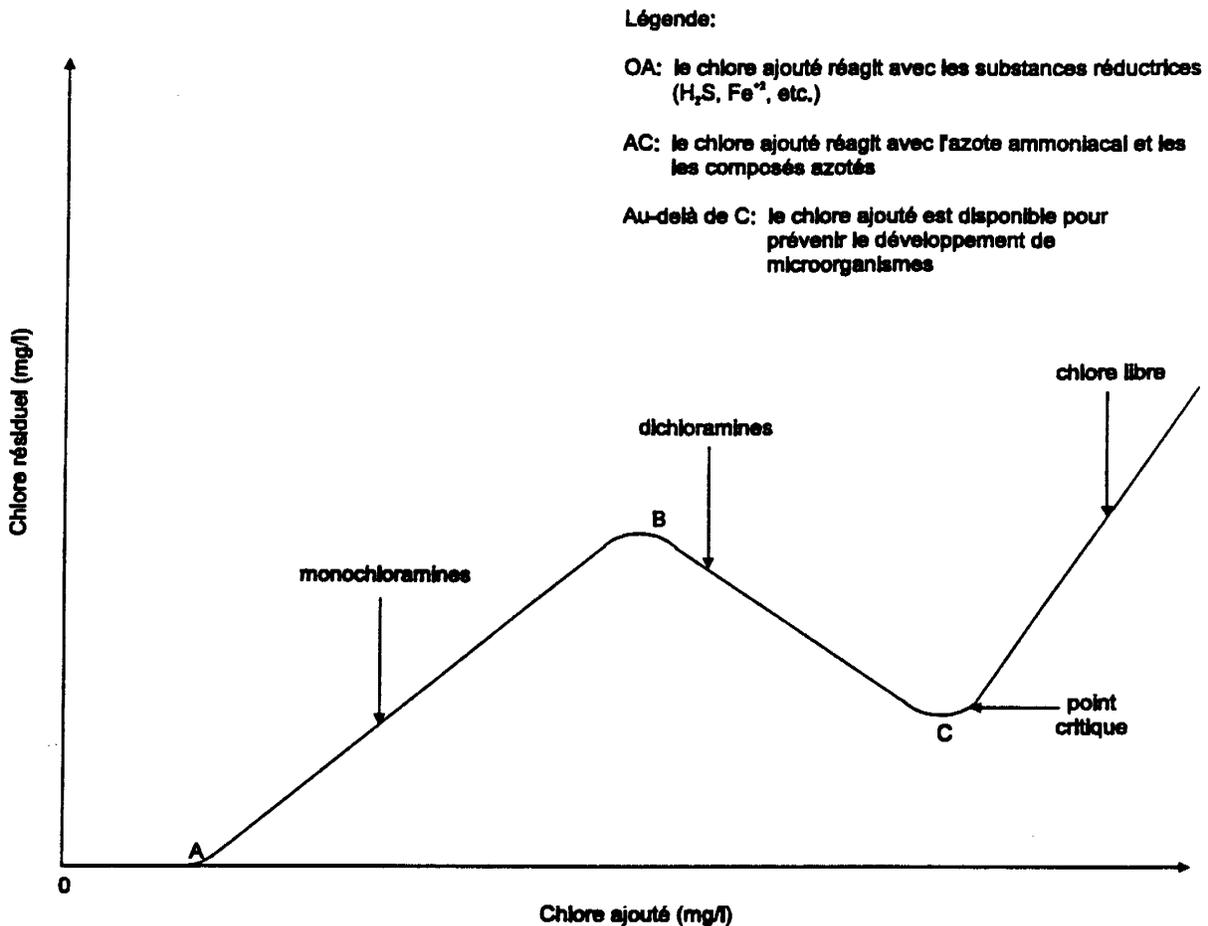


Figure 4-7: Chloration au point critique⁽¹⁸⁾

Pour qu'il y ait désinfection efficace, il est nécessaire d'ajouter suffisamment de chlore pour dépasser le point critique. On vérifie la présence des différentes

formes de chlore, chlore résiduel total et chlore résiduel libre dans les eaux limpides en utilisant la trousse DPD du nom du réactif chimique le diéthyl-p-phénylène-diamine.

Le chlore résiduel total est la somme des concentrations du chlore résiduel libre et du chlore résiduel combiné. On peut définir le chlore résiduel libre comme étant le chlore existant dans l'eau sous forme d'acide hypochloreux (HOCl) et d'ions hypochlorites (OCl⁻). Le chlore résiduel combiné est défini comme étant le chlore combiné avec l'ammoniaque ou les composés azotés.

Les usines textiles, les centrales électriques (nucléaire, charbon, etc.) et les industries utilisant des systèmes de refroidissement ouvert, peuvent rejeter du chlore sous la forme du chlore résiduel total, qui peut avoir un impact local important sur les organismes vivants dans un cours d'eau. Le chlore est utilisé à titre d'agent bactéricide pour contrôler la prolifération des bactéries et pour éviter le colmatage des systèmes de refroidissement⁽⁷⁾.

Lorsqu'on considère certaines eaux usées industrielles générées par les opérations de désinfection des équipements et des locaux dans les abattoirs, charcuteries, conserveries, laiteries, etc., il est probable que des produits tels que les chloramines se forment et qu'il y ait du chlore libre. Toutefois, le mélange de ces eaux avec d'autres eaux de procédé dans le puits de pompage et dans le bassin de régularisation du débit fait qu'à la sortie de l'usine on décèle rarement et, le cas échéant, difficilement (turbidité, coloration) la présence du chlore résiduel.

Si la détermination de la concentration du chlore résiduel est nécessaire dans les eaux usées industrielles, la méthode recommandée est la titration ampérométrique. La détermination colorimétrique en utilisant la trousse DPD est généralement inutilisable à cause des interférences physiques et chimiques. Pour obtenir plus d'informations, le lecteur peut se reporter aux "Standard Methods For The



Examination of Water and Wastewater”, la 18^e édition ou toute autre édition plus récente.

Les usines de pâtes et papiers utilisent de grandes quantités de chlore comme agent de blanchiment. Toutefois, la formation de composés tels que les “dioxines” et les “furannes” qui sont décrits dans le paragraphe 4.2.9.1 de ce guide, incite ces entreprises à modifier les opérations de blanchiment des pâtes et à recourir à d'autres produits: le dioxyde de chlore, le peroxyde d'hydrogène, l'oxygène, etc.

Parmi la multitude des composés contenant du chlore, les chlorures occupent une place prépondérante. Les principaux chlorures utilisés sont le chlorure de calcium et le chlorure de sodium. L'une des utilisations principales de ces chlorures est sans contredit à titre de fondant pour abaisser le point de fusion de la neige et de la glace. Le chlorure de calcium est utilisé comme matériau de remplissage des pneus d'équipements lourds, pour la cimentation des puits de pétrole, à titre de traitement antigel pour les piles de minerai, charbon et agrégats et pour l'épuration des eaux usées. On l'utilise également comme abat-poussière et à titre de matériau stabilisant pour les assises routières. Le chlorure de sodium est utilisé comme matière première dans la fabrication d'hydroxyde de sodium, de chlore, de carbonate de sodium, de chlorate de sodium, d'hydrogencarbonate de sodium, de chlorite et d'hypochlorite de sodium. On en fait un grand usage dans les salaisons, les conserveries de légumes, les fromageries. Il sert également à préparer des saumures dont le rejet dans l'environnement crée des problèmes.

Le chlorure de potassium est utilisé dans la fabrication d'engrais, d'allumettes, de colorants pour la teinture en cuve, de la verrerie, de la porcelaine, des produits pharmaceutiques, des détergents, des fumigants et des insecticides.

Les sources de rejets industriels de chlorures sont les effluents des industries chimiques citées précédemment. Les opérations d'extraction du pétrole et certaines industries agro-alimentaires, également mentionnées auparavant, introduisent de grandes quantités de chlorures dans les écosystèmes aquatiques.

Au niveau toxicité humaine, le chlore résiduel total ou libre qu'on retrouve dans l'eau potable ne cause pas de manifestation toxique chez l'homme. Toutefois, certains sous-produits de la chloration de la famille des haloformes peuvent être toxiques pour l'être humain. L'impact des chlorures sur la santé humaine est d'ordre organoleptique. Les chlorures contribuent à la salinité de l'eau. Il peut être important de contrôler ce paramètre pour les gens qui suivent un régime pauvre en sel^(1,9).

Au niveau écotoxicologique, le chlore résiduel est directement toxique pour les organismes aquatiques. De plus, le chlore résiduel libre peut se combiner avec des composés azotés et former en présence de matières organiques des chloramines et des haloformes qui sont toxiques pour les organismes aquatiques⁽⁷⁾.

L'impact des chlorures sur les écosystèmes aquatiques est moindre que pour celui du chlore résiduel total. À forte concentration (de l'ordre de 10 000 à 15 000 mg de chlorures par litre), il peut se produire des problèmes de plasmolyse, soit un phénomène de perte du liquide cytoplasmique par osmose. Ce phénomène s'observe chez les organismes aquatiques d'eau douce. Le système de régulation osmotique chez les organismes d'eau salée est mieux adapté à ce type de situation⁽⁷⁾.

D'autres phénomènes d'ordre matériel comme le colmatage et la corrosion sont aussi à considérer en regard de la présence importante de chlorures dans l'eau d'approvisionnement et dans les eaux à épurer.



4.2.9 Composés organiques

Peu de paramètres organiques font l'objet d'une norme de rejet dans les règlements municipaux sur les rejets d'eaux usées. Les seuls composés traités ci-après sont les biphényles polychlorés et leurs produits dérivés (dioxines et furannes) et les composés phénoliques. De plus, on explique brièvement la signification des analyses EPA 624 et EPA 625.

4.2.9.1 Biphényles polychlorés

Les biphényles polychlorés communément appelés BPC sont des produits chimiques dont la synthèse remonte à 1881 en Allemagne. Ces composés sont très résistants à la chaleur et sont d'excellents isolants électriques. Ils furent introduits sur le marché en 1929 et interdits d'utilisation au Canada dans tout produit, machine ou équipement le 1^{er} juillet 1980⁽¹⁷⁾. La majeure partie de la production des BPC fut utilisée comme fluide diélectrique (entre 55 et 60%) et pour le reste, on retrouvait des biphényles polychlorés dans les machines hydrauliques, les plastiques, les peintures, les colles, les cires, les encres d'imprimerie, les pesticides et les lubrifiants pour ne nommer que les usages à court terme, désignés également par l'expression "usages en circuit ouvert" par opposition aux "usages en circuit fermé" c'est-à-dire les fluides diélectriques et caloporteurs⁽¹⁷⁾.

Ce sont les usages en circuit ouvert qui ont déclenché "l'alerte" relative à l'utilisation des BPC et des dangers potentiels pour la santé publique. En 1968 au Japon, 1780 personnes ont été intoxiquées par des huiles de riz contaminées par des biphényles polychlorés, des polychlorodibenzofurannes (PCDF) et des polychloroquaterphényles (PCQ) provenant d'une fuite d'un échangeur de chaleur dont le fluide caloporteur était des biphényles polychlorés. Les symptômes observés furent reliés à la présence des furannes (maladie de Yusho). Il est difficile de dissocier la problématique des biphényles polychlorés, des produits de contamination à l'état de trace, ou des produits de combustion incomplète que sont les dioxines et les furannes⁽¹⁷⁾. C'est pour cette raison qu'on a cru à propos

pour le bénéfice du lecteur d'inclure dans cette section des parties qui traitent spécifiquement des produits de décomposition thermique des BPC.

En 1976, à Seveso en Italie, le bris d'un disque de rupture d'un réacteur de production d'un pesticide, le 2, 4, 5 trichlorophénol, causé par une surpression a provoqué une émission atmosphérique importante de 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8 tétrachlorodibenzodioxine). La quantité de TCDD dispersée dans l'environnement a été évaluée entre 1 et 4,5 kg. Certains échantillons montraient des concentrations de 51,3 mg/kg en 2, 3, 7,8-TCDD. Les mêmes symptômes reliés à la maladie de Yusho furent observés chez 184 personnes⁽¹⁷⁾.

D'autres incidents impliquant la combustion de biphényles polychlorés ont eu lieu partout dans le monde, et plus près de nous, l'incendie de l'Institut de Recherche en Électricité du Québec (IREQ) en 1984 et le non moins "célèbre" incendie de l'entrepôt de BPC à Saint-Basile-Le-Grand en 1988, ont fait que les biphényles polychlorés sont devenus des composés organiques toxiques prioritaires pour les différents organismes gouvernementaux.

Lorsqu'on parle de biphényles polychlorés, on est en présence d'une famille de 209 congénères possibles, correspondant aux différentes combinaisons des positions des atomes de chlore sur les noyaux benzéniques. La synthèse des biphényles polychlorés s'obtient à partir de benzène et de chlorure de sodium en présence d'un catalyseur métallique à une température de 700 à 800°C⁽¹⁷⁾. La figure 4-8 illustre une molécule d'un biphényle polychloré et les positions possibles des atomes de chlore.



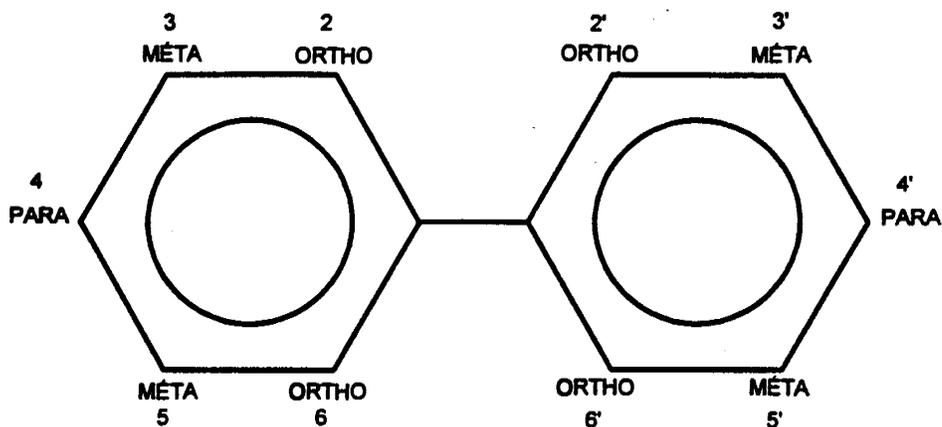


Figure 4-8: Structure chimique des biphényles polychlorés

La structure ci-dessus permet de voir que les BPC peuvent contenir 1 à 10 atomes de chlore. Le nombre d'atomes de chlore influence les propriétés physico-chimiques et toxicologiques de ces composés.

Ces propriétés⁽¹⁷⁾ sont:

- une très grande stabilité thermique et une faible inflammabilité;
- un point d'ébullition élevé;
- de très grandes propriétés diélectriques (isolantes);
- une très grande stabilité chimique et une très grande résistance à l'oxydation, aux acides, aux bases et autres agents chimiques;
- une faible solubilité dans l'eau;
- un caractère lipophile élevé;
- un taux d'évaporation dans l'air très faible;
- une toxicité reconnue;
- une propension à la bioaccumulation.

La solubilité des biphényles polychlorés est généralement inférieure à 1 µg/l. Le facteur de bioaccumulation croît avec le nombre d'atomes de chlore.

Les produits à base de biphényles polychlorés commercialisés aux États-Unis et au Canada avaient une codification numérique. Ainsi les Aroclor (AR) produits par la compagnie Monsanto étaient désignés par des expressions telles qu'AR-1242, AR-1254, AR-1260, etc; 12 signifie qu'on est en présence d'un produit à base de BPC et les deux derniers chiffres représentent le pourcentage massique de chlore dans le mélange. Ainsi, l'AR-1260 contenait 60% de chlore. Il existe une exception à cette règle, l'AR-1016 qui était produit à partir de la distillation d'AR-1242. Il était moins toxique et plus biodégradable que l'AR-1242⁽¹⁷⁾.

4.2.9.2 Polychlorodibenzofurannes et polychlorodibenzodioxines

Différentes études ont démontré que la toxicité des biphényles polychlorés peut être due aux différents contaminants que nous retrouvons dans les mélanges de BPC. Ces contaminants sont des polychlorodibenzofurannes (PCDF), des polychloroquaterphényles (PCQ) et des polychloronaphtalènes (PCN). Les PCDF sont sans contredit les produits les plus toxiques de ces contaminants. Les BPC produits aux États-Unis étaient généralement moins contaminés en PCDF (2 mg/l) que ceux produits au Japon et en Europe (entre 8 et 18 mg/l)⁽¹⁷⁾. La contamination des BPC par les polychlorodibenzodioxines (PCDD) est généralement inférieure à celle en PCDF. Nous retrouvons à l'état de trace une contamination en PCDF et PCDD dans de nombreux produits polychlorés. Ces produits sont: les polychlorophénols utilisés dans les industries du bois, des pâtes et papiers, des insecticides, fongicides et à titre d'antiseptiques et désinfectants.

La combustion d'ordures ménagères et industrielles contenant des matières organiques et du chlore peuvent être une source de contamination environnementale par les PCDF et les PCDD. Les figures 4-9 et 4-10 nous montrent les structures chimiques générales des polychlorodibenzofurannes et des polychlorodibenzodioxines.



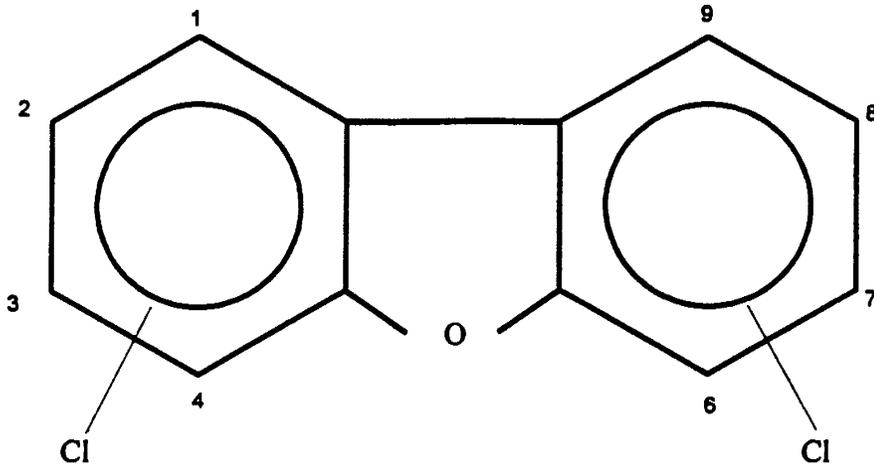


Figure 4-9: Structure chimique d'une molécule de polychlorodibenzofuranne

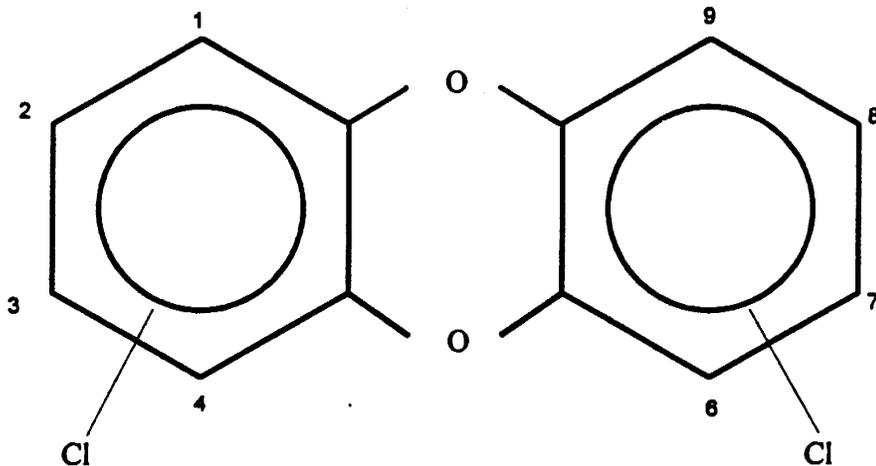


Figure 4-10 : Structure chimique d'une molécule de polychlorodibenzodioxine

Bien que les émissions anthropiques de ces produits peuvent être très faibles, il faut se rappeler que ces produits sont fortement bioaccumulables et de ce fait, on les décèle dans les différents niveaux trophiques de la chaîne alimentaire.

Au total, il existe 135 congénères du type polychlorodibenzofuranne et 75 congénères du type polychlorodibenzodioxine. Les propriétés physico-chimiques et toxicologiques de ces familles de composés⁽¹⁷⁾ sont:

- une grande stabilité thermique (température de décomposition supérieure à 700°C. Dégradation en moins d'une seconde au-dessus de 900°C);
- un caractère lipophile important (à relier à l'accumulation dans les lipides des organismes vivants);
- une très faible solubilité dans l'eau qui diminue avec le nombre d'atomes de chlore (la solubilité de la 2,3,7,8-TCDD est de 0,2 ng/l);
- une faible volatilité (volatilité inversement proportionnelle au nombre d'atomes de chlore);
- une affinité pour les substances organiques (tendance à être adsorbés sur les substances organiques présentes dans les sédiments);
- une affinité pour les particules (possibilité de transport par des contaminants aéroportés tels que les cendres, les poussières, etc.);
- une certaine toxicité (la toxicité varie d'un congénère à l'autre. Variabilité de la réponse toxicologique selon les espèces).

4.2.9.3 Toxicité des PCDF, PCDD et BPC

En général, la mesure de la toxicité d'un mélange de dioxines et de furannes sera exprimée en équivalent toxique 2,3,7,8-TCDD. Ce sont les congénères avec des atomes de chlore aux positions 2,3,7 et 8 qui sont les plus toxiques (voir ses positions sur les figures 4-9 et 4-10). Pour être en mesure d'évaluer la toxicité



d'un mélange de PCDF et PCDD, on utilise les facteurs d'équivalence indiqués dans le tableau 4-34.

Tableau 4-34: Table d'équivalents toxiques (2,3,7,8-TCDD_{éq}) pour les congénères de PCDD et de PCDF⁽¹⁸⁾

CONGÉNÈRES	TCDD _{éq}
2,3,7,8-TCDD	1
Autres tétraCDD	0,1
1,2,3,7,8-pentaCDD	0,5
Autres pentaCDD	0,05
1,2,3,4,7,8-hexaCDD	0,1
1,2,3,7,8,9-hexaCDD	0,1
1,2,3,6,7,8-hexaCDD	0,1
Autres hexaCDD	0,01
1,2,3,4,6,7,8-heptaCDD	0,01
Autres heptaCDD	0,001
1,2,3,4,6,7,8,9-octoCDD	0,001
2,3,7,8-tétraCDF	0,1
Autres tétraCDF	0,01
2,3,4,7,8-pentaCDF	0,5
1,2,3,7,8-pentaCDF	0,05
Autres pentaCDF	0,005
1,2,3,4,7,8-hexaCDF	0,1
1,2,3,7,8,9-hexaCDF	0,1
1,2,3,6,7,8-hexaCDF	0,1
2,3,4,6,7,8-hexaCDF	0,1
Autres hexaCDF	0,01
1,2,3,4,6,7,8-heptaCDF	0,01
1,2,3,4,7,8,9-heptaCDF	0,01
1,2,3,4,6,7,8,9-octoCDF	0,001

Les concentrations totales de dioxines et furannes sont exprimées sous la forme 2,3,7,8-TCDD_{éq}^(18,19). Le calcul se fait à l'aide de l'équation suivante:

$$[\text{TCDD}]_{\text{éq}} = \sum_{i=1}^n [\text{congénères}]_i \times \text{TCDD}_{(\text{éq})i}$$

où:

n	=	le nombre de congénères présents
[TCDD] _{éq}	=	concentration en 2,3,7,8-TCDD équivalent
[Congénères] _i	=	concentration du congénère i
TCDD _{(éq) i}	=	équivalent toxique en TCDD du congénère i

Le résultat nous indique une concentration équivalente en 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-dioxine.

L'organisation mondiale de la santé (OMS) a développé des facteurs équivalents de toxicité exprimés en 2, 3, 7, 8 - TCDD éq. pour certains congénères des BPC⁽¹⁹⁾. Le tableau 4-35 montre la valeur des facteurs d'équivalences toxiques pour certains biphényles polychlorés.

Tableau 4-35: Facteurs d'équivalents toxiques (FET) selon l'OMS (1994) attribués à certains congénères des BPC (relatifs à la 2,3,7,8-TCDD)⁽²¹⁾

TYPES DE CONGÉNÈRES	NO. IUPAC ¹	TCDD _{éq}
Non-Ortho (Planaire)	77	0,0005
	126	0,1
	169	0,01
Mono-Ortho	105	0,0001
	114	0,0005
	118	0,0001
	123	0,0001
	156	0,0005
	157	0,0005
	167	0,00001
Di-Ortho	189	0,0001
	170	0,0001
	180	0,00001

1 International Union of Pure and Applied Chemistry.



Au niveau toxicité humaine, les effets des biphényles polychlorés sont variés. Selon la durée et le niveau d'exposition, on pourra observer différentes manifestations cliniques. Les observations recueillies sont basées sur des expositions en milieu de travail avec présence de BPC dans l'air. Les voies d'exposition sont surtout cutanée et respiratoire.

Au niveau épidermique, on peut observer des lésions dermatologiques telles que: des érythèmes non-spécifiques et transitoires, des brûlements oculaires, une persistance d'une odeur corporelle désagréable et pour les cas les plus sévères, une chloracné variant de légère à modérée. Au niveau hépatique, il est possible d'observer une augmentation des concentrations d'enzymes hépatiques sans manifestations hépatiques sévères^(9,17).

Au niveau du système respiratoire, on peut noter de la toux et une irritation des voies respiratoires supérieures. Au niveau du système nerveux, c'est une augmentation de la fréquence des neuropathies périphériques qui peut être observée^(9,17).

Il est important de mentionner que chez les enfants allaités, il peut y avoir augmentation de la charge corporelle des BPC due au transfert des BPC présents dans le lait maternel de femmes qui y sont exposées. Les temps de demi-vie des Aroclor 1254 et 1260 varient entre six mois et moins de trois ans chez l'être humain et ils sont fonction de la teneur en chlore⁽¹⁷⁾.

Les biphényles polychlorés sont classifiés 2A (cancérogènes probables pour l'être humain)⁽¹⁰⁾.

Pour les dioxines et furannes, les observations cliniques sont tirées des intoxications survenues au Japon (maladie de Yusho) et à Taiwan (maladie de Yu-Cheng), soit une pénétration par la voie gastro-intestinale à la suite de l'ingestion d'huile de riz contaminée et par les voies cutanée et respiratoire dans le cas des retombées de l'accident de Seveso en Italie⁽¹⁷⁾.

Les manifestations cliniques observées sont nombreuses et importantes. Elles sont liées au fait que les dioxines et furannes sont persistants dans l'organisme et que les effets toxiques sont liés à une action cumulative. La persistance du 2,3,7,8-TCDF, du 2,3,4,7,8-PCDF et 1,2,3,4,7,8-HCDF fait qu'on peut observer des effets sur une période de plus de 10 ans⁽¹⁷⁾.

Les manifestations cliniques observées lors d'une exposition par voie gastro-intestinale sont de plusieurs ordres. Au niveau muco-cutané, on peut observer des problèmes oculaires, des changements pigmentaires au niveau des ongles, de la peau ou des muqueuses, l'apparition de comédons localisés avec accentuation des follicules pileux. À un stade plus avancé, on note des lésions acnéiformes localisées avec ou sans kystes dans la région génitale et ultimement des lésions cutanées importantes avec lésions acnéiformes et kératofolliculaires généralisées accompagnées ou non d'une surinfection bactérienne^(9,17).

Au niveau hépatique, il est possible de décélérer une perturbation fonctionnelle des paramètres hépatiques jusqu'à l'hépatomégalie et l'ictère. Il peut y avoir des atteintes de l'état général caractérisées par de la faiblesse et de la fatigue.

Enfin, il est nécessaire de mentionner qu'une exposition par voie gastro-intestinale peut amener des troubles digestifs.

Pour une exposition par voie cutanée et respiratoire à des dioxines, les manifestations cliniques suivantes ont été observées. Au niveau cutané, on signale des chloracnés. Au niveau du système nerveux, l'exposition aux dioxines a diminué la vitesse de conduction nerveuse des nerfs sensitifs périphériques. Ce phénomène est réversible après une période de 6 mois. Une atteinte au niveau du système immunitaire caractérisée par la diminution du nombre de lymphocytes et le ratio de lymphocytes T auxiliaire et T suppresseur a été également observée^(9,17).



Au niveau écotoxicologique, les données environnementales concernant l'impact des biphényles polychlorés sur les écosystèmes sont basées sur la présence simultanée de différents congénères et non sur la base d'un composé particulier. Au niveau aqueux, les congénères de BPC ayant moins de cinq atomes de chlore attachés sont plus solubles dans l'eau que ceux avec cinq atomes de chlore et plus (congénères supérieurs). De plus, en raison de leur stabilité et de leur résistance à la dégradation, les biphényles polychlorés sont considérés comme persistants et omniprésents dans l'écosystème aquatique⁽⁷⁾.

Le principal mécanisme d'élimination des BPC en milieu aquatique est la sorption sur les sédiments. L'affinité des biphényles polychlorés pour les matières en suspension à forte teneur en matière organique et leur faible solubilité, font que la concentration de BPC sera plus élevée dans les sédiments que dans l'eau⁽⁷⁾.

Les biphényles polychlorés à trois atomes de chlore ou moins peuvent être biodégradés par des microorganismes. Les congénères à cinq atomes de chlore ou plus sont résistants à la biodégradation et à la biotransformation. Au niveau bioconcentration, on a mesuré chez des poissons et la crevette rose des facteurs pouvant aller jusqu'à 200 000 et jusqu'à 10⁶ chez d'autres organismes aquatiques. Ces phénomènes de bioconcentration sont liés au fait que les BPC sont solubles dans les lipides et ont tendance à s'accumuler dans les tissus adipeux. Enfin, il est nécessaire de mentionner que la bioamplification dans le réseau alimentaire aquatique des biphényles polychlorés n'est pas important⁽⁷⁾.

Au niveau écotoxicologique, il existe peu de données sur l'impact des polychlorodibenzodioxines (PCDD) et les polychlorodibenzofurannes (PCDF) sur l'environnement aquatique. Leurs stabilités chimique et environnementale font que ces composés peuvent être persistants dans l'environnement⁽⁷⁾.

Les mécanismes d'élimination des PCDD sont peu connus. Cependant, le caractère lipophile de ces composés laisse supposer que la sorption sur des

matières en suspension à forte teneur en matières organiques est le mécanisme d'élimination des PCDD en milieu aquatique⁽⁷⁾.

Les polychlorodibenzodioxines peuvent être photolysées lorsqu'elles se déposent sur les surfaces foliaires et de façon moindre dans les sols. Ce processus de décomposition requiert toutefois des conditions particulières pour avoir lieu (présence de donneurs d'hydrogène, lumière ultraviolette de longueur d'onde appropriée)⁽⁷⁾.

La volatilisation des PCDD et particulièrement le 2,3,7,8-TCDD est un phénomène d'élimination marginal en milieu aqueux. On a estimé le temps de demi-vie du 2,3,7,8-TCDD à 5,5 et 12 ans dans un étang et un lac respectivement⁽⁷⁾.

Certains organismes aquatiques bioconcentrent les polychlorodibenzodioxines. Ces facteurs de bioconcentration peuvent varier entre 2000 et 6000 et parfois même jusqu'à 10^4 . Chez les poissons, il ne semble pas que la nourriture soit la source de bioaccumulations de PCDD⁽⁷⁾.

4.2.9.4 Composés phénoliques

Les composés phénoliques sont une famille de composés dont on mesure la concentration par la méthode de laboratoire R-4AAP (4-aminoantipyrine). Cette méthode est non-spécifique et permet de mesurer des composés chimiques similaires tels que des phénols, des polyphénols, des chlorophénols et des phénoxyacides. Le résultat sera généralement exprimé en composés phénoliques et non en phénols⁽³⁾. Dans le domaine des pâtes et papiers, la mesure des composés phénoliques sera effectuée par dosage par chromatographie en phase gazeuse selon la méthode de laboratoire (MENVIQ 92.01/414-Phé. 1.1). Les composés phénoliques recherchés et mesurés à l'aide de cette méthode sont énumérés dans le tableau 4-36.



Tableau 4-36: Liste des composés phénoliques à mesurer selon la méthode de laboratoire MENVIQ.92.01/414-Phé. 1.1

phénol	2-nitrophénol	3,4,5-trichloroguaiacol
o-crésol	2,4,6-trichlorophénol	4,5,6-trichloroguaiacol
m-crésol	4-nitrophénol	5,6-dichlorovanilline
p-crésol	Eugénol	Pentachlorophénol
2,4-diméthylphénol	4,5-dichloroguaiacol	6-chlorovanilline
Guaiacol	Isoeugénol	Catéchol
2,4-dichlorophénol	2,3,4,6-tétrachlorophénol	4,5-dichlorocatéchol

Cette liste est restreinte aux composés phénoliques les plus susceptibles de se retrouver dans les eaux usées provenant des fabriques de pâtes et papiers.

Les sources de rejets industriels de composés phénoliques sont nombreuses. Les sources majeures sont les raffineries de pétrole, la fabrication d'explosifs, la préparation de résine et les fours à coke. Les autres sources industrielles de composés phénoliques sont: l'entretien d'avion, les fonderies, la fabrication de fibres de polyacrylonitrile (connu sous le nom commercial "ORLON"), les industries des pâtes et papiers, la récupération du caoutchouc, les industries de l'azote, la fabrication de bas, les industries du textile et la fabrication de la fibre de verre^(2,7).

À titre d'information, le tableau 4-37 montre des concentrations en composés phénoliques dans les effluents générés par différentes activités industrielles⁽²⁾. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fin d'analyse.

importantes de composés phénoliques en milieu aqueux proviennent de sources anthropiques. Le composé phénolique le plus documenté sur son devenir en milieu aquatique est le phénol⁽⁷⁾.

Compte tenu que ce dernier est soluble, et peu volatil, les mécanismes d'élimination du phénol sont la photo-oxydation, l'oxydation et la dégradation microbienne. Le coefficient octanol/eau du phénol étant faible, la bioaccumulation du phénol dans les organismes est probablement faible⁽⁷⁾.

4.2.9.5 Identification de composés organiques par les méthodes EPA 624 et EPA 625

Dans les règlements, il n'y a qu'un nombre restreint de composés organiques qui sont soumis à une norme. Toutefois, pour l'analyse de certains dossiers, il est utile de connaître la concentration des composés organiques présents dans les eaux usées. Cette section traite de la signification des analyses de laboratoire EPA 624: composés organiques volatils et EPA 625 composés organiques semi-volatils, des concentrations de ces polluants dues à différentes activités industrielles, des limites inhérentes à ces méthodes et les pièges que l'on peut éviter en utilisant ces méthodes.

Historiquement, l'Agence de Protection de l'Environnement des États-Unis a décrété en 1978 une liste de polluants prioritaires. Les critères de sélection de ces polluants sont la toxicité, la persistance, la bioaccumulation, la dégradabilité, la nature de la toxicité, le potentiel cancérigène et le potentiel d'exposition. Sur la base de ces critères, de nombreux composés (quelques milliers) ont été identifiés. Cette liste a été ramenée à 129 polluants selon le critère de la fréquence d'occurrence d'apparition du polluant supérieure à 5%. Cette liste était constituée de 129 polluants prioritaires comprenant 114 composés organiques, 13 métaux, les cyanures et l'amiante⁽¹⁹⁾.



SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Production de résines phénoliques	1600
Fabrique de bas et chaussettes	6000
Fabrication de plastiques à base de composés phénoliques	1270-1345
Production de p-nitrophénol (résine intermédiaire)	2400-25 000
Fabrication de la fibre de verre	40-400
Fabrication d'isolants à base de fibre de verre	4,1-363
Fabrique d'isolants à base de fibre de verre avec système de recirculation	240-2564
Formulation de peintures	1,1
Dégazage de peinture	1-4
Eaux de lavage de citerne	29

Une intoxication aiguë au phénol par voie orale est caractérisée par une atteinte systémique globale. Après ingestion, il y a des brûlures au niveau de la bouche, de la gorge et des douleurs abdominales. On peut noter une modification du rythme cardiaque et de la respiration, une contraction involontaire de certains muscles du visage et des membres, le tremblement et la convulsion. La mort peut survenir par arrêt respiratoire. La dose létale pour un homme est d'environ 1 g de phénol par ingestion⁽⁹⁾.

Une intoxication chronique au phénol est caractérisée par une atteinte systémique. Les manifestations cliniques observées pour les cas sévères sont des problèmes de digestion, accompagnés de vomissements, d'une difficulté à avaler, de styalisme, de diarrhée et d'anorexie. Des désordres nerveux accompagnés de maux de tête, de perte de conscience, de vertiges et de désordres mentaux. Au niveau cutané, possibilité de développer une orchromose et des éruptions cutanées. Dans les cas plus graves, on peut observer des dommages au niveau hépatique et rénal⁽⁹⁾. Le phénol est classifié 3 (non-cancérogène pour l'être humain)⁽¹⁰⁾.

Au niveau écotoxicologique, les composés phénoliques peuvent provenir de la décomposition de plantes aquatiques et des végétaux. Les concentrations plus

Tableau 4-37 : Concentrations en composés phénoliques dans les eaux usées pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽²⁾

SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (mg/l)
Fours à coke:	
- Liqueurs à faible teneur en ammoniacque sans enlèvement de phénols	580-12 000
- Liqueurs d'ammoniacque non-distillées	505-1670
- Liqueurs à faible teneur en ammoniacque avec enlèvement de phénols	4,5-332
- Liqueurs d'ammoniacque distillées	250-632
- Eaux de lavage huileuses	30-150
Raffinage du pétrole:	80-105 (moy. 140)
- Eaux acides	40-80
- Effluent global	80
- Effluent liquide du postdégazeur	40-80
- Effluent provenant du craqueur catalytique	100
- Eaux usées provenant de l'unité d'huiles minérales	0,3-100
- Effluent du séparateur API	max.: 43
- Effluent du séparateur API après unité de flottation à air dissous	moy.: 28
Usine pétrochimique:	
- Effluent global	31-800
- Raffinage du benzène	210
- Production d'azote	250
- Synthèse de l'acide benzoïque, benzaldéhyde et de phénol par oxydation du toluène	700-1220
- Distillation du goudron	300
- Entretien d'avion	200-400
- Fabrication d'herbicides (dérivés chloro et phénoxyacides)	239-524
- Production de pesticides	2,8-129
Haut fourneau (effluents bruts):	0,09-0,59
- Usines de ferroalliages	5,6-9,1
Récupération du caoutchouc	3-10
Effluent d'usine de fabrication du polyacrylonitrile (ORLON)	100-150
Fabrication du contreplaqué:	
- Conditionnement des billes	0,2-4,7
- Eaux de rinçage de la colle	0,14-4,2
Préservation du bois:	
- Effluent global (13 usines)	50-593
- Procédé à la créosote	47-134
- Procédé à la créosote et au pentachlorophénol	82-258
Fabriques de pâtes et papiers	22
Fabrication de panneaux de carton dur (procédé humide)	0,7-1,0
Production de colles et produits pour le bois	4,7
Production d'adhésifs et scellants	47-244
Tannage et finition du cuir	4,4-5,5



Depuis lors, trois composés organiques ne font plus partie de la liste des polluants prioritaires. On retrouve donc 111 composés organiques, 13 métaux, les cyanures et l'amiante⁽²⁰⁾.

Les méthodes analytiques EPA 624 (composés organiques volatils) et EPA 625 (composés organiques semi-volatils) nécessitent des manipulations de laboratoire différentes pour la préparation et la quantification^(3,20). Les appareils analytiques utilisés sont le chromatographe en phase gazeuse et le spectromètre de masse (CG et SM en français).

Le tableau 4-38 indique les composés organiques que l'on peut identifier et mesurer à l'aide de la méthode analytique EPA 624 (composés volatils).

Tableau 4-38: Liste des composés organiques volatils mesurés par EPA 624⁽²⁰⁾

Acroléine	1,1-dichloroéthane	1,2-trans-dichloroéthylène
Acrylonitrile	1,1,2-trichloroéthane	1,2-dichloropropane
Benzène	1,1,2,2-tétrachloroéthane	1,2-dichloropropylène
Tétrachlorométhane	Chloroéthane	Éthylbenzène
Chlorobenzène	2 chloroéthyl-vinyl-éther (mélange)	Chlorure de méthylène
1,2-dichloroéthane	Chloroforme	Chlorure de méthyle
1,1,1-trichloroéthane	1,1-dichloroéthylène	Bromure de méthyle
Bromoforme	Dichlorobromométhane	Chlorodibromométhane
Tétrachloroéthylène	Toluène	Trichloroéthylène
Chlorure de vinyle		

La méthode d'analyse des composés semi-volatils EPA 625 est divisée en diverses manipulations de laboratoire. Ces manipulations sont des extractions base/neutre à l'aide de solvant à pH 11 et des extractions acide avec solvant à pH 2. Les composés que l'on peut mesurer à l'aide de la méthode EPA 625 sont subdivisés en deux groupes. Ces deux groupes sont les composés organiques extractibles base/neutre et les composés organiques extractibles acides. Les tableaux 4-39 et 4-40 dressent les listes de ces différents composés.

**Tableau 4-39: Liste des composés organiques semi-volatils extractibles
à pH acide (EPA 625)⁽²⁰⁾**

2,4,6-trichlorophénol	2,4-dinitrophénol
4-chloro-3-méthylphénol	4,6-dinitro-ortho-crésol
2-chlorophénol	Pentachlorophénol
2-nitrophénol	Phénol
4-nitrophénol	2,4-dichlorophénol
2,4-diméthylphénol	

De nombreuses activités industrielles peuvent générer les différents polluants organiques prioritaires énumérés précédemment. Les origines de la présence de ceux-ci dans un effluent industriel sont diverses⁽²⁾. On peut signaler notamment:

- le polluant est une matière première utilisée dans le procédé de fabrication;
- le polluant est un contaminant de la matière première;
- le polluant est un produit du procédé de fabrication;
- le polluant est un sous-produit du procédé de fabrication;
- le polluant est généré par inadvertance durant le prétraitement ou le traitement des eaux usées avant leur rejet.

À titre d'information, le tableau 4-41 montre des concentrations des différents polluants prioritaires présents dans les effluents générés par différentes activités industrielles⁽²⁾. Ces valeurs sont indicatives et ne peuvent être utilisées comme telles pour fins d'analyse.



**Tableau 4-40: Liste des composés organiques semi-volatils extractibles
à pH base/neutre (EPA 625)⁽²⁰⁾**

Acénaphène	Isophrone
Benzidine	Naphtalène
1,2,4-trichlorobenzène	Nitrobenzène
Hexachlorobenzène	N-nitrosodiméthylamine
Hexachloroéthane	N-nitrosodiphénylamine
Bis (2 chloroéthyl) éther	N-nitrosodi-n-propylamine
2 chloronaphtalène	Bis (2-éthylméthyle) phtalate
1,2-dichlorobenzène	butyl benzyl phtalate
1,3-dichlorobenzène	Di-n-butyl phtalate
1,4-dichlorobenzène	Di-n-octyl phtalate
3,3-dichlorobenzidine	Diéthyl phthalate
2,4-dinitrotoluène	Diméthyl phtalate
2,6-dinitrotoluène	Benzo (a) anthracène
1,2-diphénylhydrazine	Benzo (a) pyrène
Fluoranthène	Benzo (b) fluoranthène
4-chlorophényle phényle éther	Benzo (k) fluoranthène
4-bromophényle phényle éther	Chrysène
Bis (2-chloroisopropyl) éther	Acénaphthène
Bis (2-chloroéthoxy) éther	Anthracène
Hexachlorobutadiène	Benzo (g,h,i) pérylène
Hexachlorocyclopentadiène	Fluorène
Phénanthrène	Heptachlore
Dibenzo (a,h) anthracène	Epoxyde d'heptachlore
Indéno (1,2,3-cd) pyrène	α BHC
Pyrène	β BHC
Aldrine	γ BHC (lindane)
Dialdrine	δ BHC
Chlordane	BPC 1242
4,4'-DDT	BPC 1254
4,4'-DDE	BPC 1221
α-endosulfan	BPC 1232
β-endosulfan	BPC 1248
Sulfate d'endosulfan	BPC 1260
Endrine	BPC 1016
Aldéhyde d'endrine	Toxaphène



Tableau 4-41: Concentrations de certains polluants organiques prioritaires (EPA) pour différentes activités industrielles (eaux brutes)⁽²⁾

COMPOSÉS	SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (µg/l)	
		MOYENNE	FOURCHETTE
<u>Hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPA)</u> Acénaphthène	Industries du textile	8,7	0-12
	Fabrication de produits du bois	170	0-55 000
	Raffineries de pétrole	280	37-522
	Industries pharmaceutiques	12	0-100
	Fonderies	21	0-200
	Métaux non-ferreux	7,4	0-100
	Industries sidérurgiques	9	0-53
2-chloronaphtalène	Buanderies automatiques et autres	1	0-17
	Centrales thermiques	10	-
	Industries sidérurgiques	22	-
Fluoranthène	Mines de charbon	4	0-16
	Fabrication de produits du bois	1600	0-35 000
	Raffineries de pétrole	270	-
	Buanderies automatiques et autres	7	0-14
	Traitement de surface de tôles	20	0-130
	Fonderies	40	0-390
	Industries sidérurgiques	110	0-3100
Métaux non-ferreux	55	0-3000	

COMPOSÉS	SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (µg/l)	
		MOYENNE	FOURCHETTE
Naphthalène	Mines de charbon	57	0-402
	Industries du textile	44	0-110
	Raffineries de pétrole	400	0-1000
	Fabrication de produits du bois	3500	0-45 000
	Formulation d'encre et de peinture	1500	0-18 000
	Buanderies automatiques et autres	240	0-4800
	Industries pharmaceutiques	2,8	0-14
	Fonderies	27	0-160
	Tannage et finition du cuir	26	0-67
	Métaux non-ferreux	110	0-5000
Industries sidérurgiques	2300	0-29 000	
Benzo (a) anthracène	Extraction du charbon	9,2	0-35
	Fabrication de produits du bois	170	0-55 000
	Buanderies automatiques et autres	120	-
	Traitement de surface de tôles	33	0-160
	Fonderies	3300	-
	Industries sidérurgiques	90	0-2000
	Métaux non-ferreux	13	0-180
Benzo (a) pyrène	Extraction du charbon	4,6	0-12
	Fabrication de produits du bois	420	0-2700
	Fonderies	16	0-57
	Métaux non-ferreux	17	0-570
	Industries sidérurgiques	21	0-510
Benzo (b) fluoranthène	Extraction du charbon	3,6	0-12
	Fabrication de produits du bois	87	0-1680
	Fonderies	14	0-36
	Traitement de surface de tôles	18	0-35
	Métaux non-ferreux	19	0-260
	Industries sidérurgiques	28	0-200
Benzo (k) fluoranthène	Extraction du charbon	3,6	0-12
	Fabrication de produits du bois	27	0-3900
	Traitement de surface de tôles	18	0-35
	Métaux non-ferreux	20	0-210
	Industries sidérurgiques	40	0-360



COMPOSÉS	SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (µg/l)	
		MOYENNE	FOURCHETTE
Chrysène	Extraction du charbon	9,2	0-35
	Fabrication de produits du bois	98	0-4700
	Traitement de surface de tôles	17	0-160
	Fonderies	1100	0-13 000
	Métaux non-ferreux	160	0-10 000
	Industries sidérurgiques	94	0-2200
Acénaphthylène	Fabrication de produits du bois	930	0-2060
	Raffinerie de pétrole	46	4-87
	Fonderies	15	0-62
	Métaux non-ferreux	8,2	0-120
	Industries sidérurgiques	290	0-6400
Anthracène	Extraction du charbon	23	0-132
	Raffinerie de pétrole	170	0-1100
	Buanderies automatiques et autres	23	0-470
	Industries pharmaceutiques	1,8	0-7
	Traitement de surface de tôles	91	0-2800
	Tannage et finition du cuir	62	0-140
	Métaux non-ferreux	43	0-3000
	Industries sidérurgiques	91	0-2800
Benzo(g,h,i) pérylène	Extraction du charbon	3,6	0-12
	Fabrication de produits du bois	6	0-315
	Métaux non-ferreux	12	0-150
	Industries sidérurgiques	16	-
Fluorène	Extraction du charbon	8	0-47
	Fabrication de produits du bois	2300	0-48 000
	Raffinerie de pétrole	270	-
	Industries pharmaceutiques	3,5	0-14
	Fonderies	66	0-800
	Traitement de surface de tôles	17	0-300
	Métaux non-ferreux	5	0-94
	Industries sidérurgiques	85	0-2500



COMPOSÉS	SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (µg/l)	
		MOYENNE	FOURCHETTE
Phénanthrène	Fabrication de produits du bois	3800	0-39 000
	Buanderies automatiques et autres	28	0-470
	Industries pharmaceutiques	1,8	0-7
	Traitement de surface de tôles	28	0-1400
	Fonderies	63	0-470
	Tannage et finition du cuir	62	0-140
	Métaux non-ferreux	46	0-3000
	Industries sidérurgiques	99	0-2800
Dibenzo (a,h) anthracène	Industries sidérurgiques	8	0-16
	Métaux non-ferreux	8,2	0-110
Indéno (1,2,3-cd) pyrène	Fabrication de produits du bois	130	0-5500
	Métaux non-ferreux	18	0-350
	Industries sidérurgiques	7	-
Pyrène	Extraction du charbon	4	0-19
	Fabrication de produits du bois	1000	0-22 000
	Raffineries de pétrole	35	30-40
	Buanderies automatiques et autres	6	0-11
	Fonderies	44	0-1100
	Traitement de surface de tôles	13	0-50
<u>Composés azotés</u>			
Acrylonitrile	Industries du textile	1600	-
	Transformation caoutchouc	23 000	-
	Industries sidérurgiques	6900	0-21 000
Benzidine	Tannage et finition du cuir	4	-
	Métaux non-ferreux	1,2	0-6
1,2-Diphénylhydrazine	Industries du textile	22	-
	Industries pharmaceutiques	2	0-10

COMPOSÉS	SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS ($\mu\text{g/l}$)	
		MOYENNE	FOURCHETTE
N-Nitrosodiphénylamine	Extraction du charbon	3,8	0-30
	Industries du textile	15	0-72
	Transformation du caoutchouc	35	0-53
	Buanderies automatiques et autres	95	0-1800
	Industries pharmaceutiques	12	0-30
	Tannage et finition du cuir	36	-
N-Nitrosodi-n-propylamine	Fonderies	60	0-210
<u>Composés aromatiques</u>			
Benzène	Extraction du charbon	2,6	0-15
	Industries du textile	<5	0-200
	Fabrication de produits du bois	350	0-2800
	Raffineries de pétrole	100	-
	Formulation d'encre et de peinture	1200	0-9900
	Transformation du caoutchouc	610	0-3400
	Gommes et résines de bois	180	0-710
	Buanderies automatiques et autres	840	0-23 000
	Industries pharmaceutiques	220	0-2100
	Extraction et conditionnement du minéral	2,1	0-4,2
	Centrales thermiques	45	-
	Fonderies	200	-
	Tannage et finition du cuir	19	0-150
	Métaux non-ferreux	11	0-160
Industries sidérurgiques	2000	0-43 000	
Chlorobenzène	Industries du textile	25	0-300
	Buanderies automatiques et autres	6	0-12
	Industries pharmaceutiques	67	0-200
	Tannage et finition du cuir	1,4	-
	Métaux non-ferreux	3,9	0-40
	Industries sidérurgiques	<10	

COMPOSÉS	SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (µg/l)	
		MOYENNE	FOURCHETTE
1,2,4-Trichlorobenzène	Industries du textile	410	0-2700
	Centrales thermiques	10	-
	Fonderies	7	-
	Métaux non-ferreux	22	0-260
Hexachlorobenzène	Industries du textile	1,3	0-2
	Métaux non-ferreux	220	0-5000
Dichlorobenzène	Extraction du charbon	<1,2	0-10
	Industries du textile	2	0-280
	Buanderies automatiques et autres	30	0-1100
	Centrales thermiques	20	10-26
	Tannage et finition du cuir	69	0-200
2,4-Dinitrotoluène	Industries pharmaceutiques	12	0-49
	Fonderies	15	0-50
	Métaux non-ferreux	1,7	0-16
	Industries sidérurgiques	710	-
2,6-Dinitrotoluène	Industries du textile	54	-
	Fonderies	17	0-50
	Industries sidérurgiques	25	0-47
Éthylbenzène	Industries du textile	54	0-2800
	Fabrication de produits du bois	37	0-2100
	Raffineries de pétrole	>100	-
	Formulation d'encre et de peinture	3400	0-15 000
	Gommes et résines de bois	4700	20-28 000
	Transformation du caoutchouc	500	0-1500
	Buanderies automatiques et autres	550	0-17 000
	Industries pharmaceutiques	16	0-86
	Extraction et conditionnement du minéral	4,4	0-8,8
	Fonderies	39	-
	Tannage et finition du cuir	65	-
	Métaux non-ferreux	2,5	0-21
	Industries sidérurgiques	61	0-39 000



COMPOSÉS	SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (µg/l)	
		MOYENNE	FOURCHETTE
Nitrobenzène	Formulation d'encre et de peinture	100	0-180
	Fonderies	94	0-280
	Tannage et finition du cuir	73	-
	Métaux non-ferreux	11	0-160
	Industries sidérurgiques	1400	-
Toluène	Extraction du charbon	1,1	0-8
	Industries du textile	26	0-620
	Fabrication de produits du bois	180	0-3200
	Raffineries de pétrole	100	-
	Formulation d'encre et de peinture	10 000	0-260 000
	Gommes et résines de bois	2000	20-17 000
	Transformation du caoutchouc	77	0-350
	Pâtes, papiers et cartons	<4	0-44
	Buanderies automatiques et autres	1300	0-51 000
	Industries pharmaceutiques	2400	0-17 000
	Fonderies	120	-
	Tannage et finition du cuir	67	0-400
	Métaux non-ferreux	6,9	0-55
	Industries sidérurgiques	590	0-17 000
<u>Hydrocarbures halogénés</u>			
Tétrachlorure de carbone	Formulation d'encre et de peinture	1900	0-30 000
	Transformation du caoutchouc	180	0-350
	Buanderies automatiques et autres	95	0-1700
	Industries pharmaceutiques	460	0-6000
	Industries de chimie inorganique	-	0-200
	Fonderies	45	0-480
	Industries sidérurgiques	40	-
	Métaux non-ferreux	81	0-23 000

COMPOSÉS	SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS ($\mu\text{g/l}$)	
		MOYENNE	FOURCHETTE
1,2-Dichloroéthane	Formulation d'encre et de peinture	100	0-420
	Transformation du caoutchouc	93	-
	Buanderies automatiques et autres	250	0-500
	Industries pharmaceutiques	8,7	0-74
	Centrales thermiques	44	-
	Industries de chimie inorganique	-	0-620
	Fonderies	83	0-170
	Métaux non-ferreux	20	0-180
1,1,1-Trichloroéthane	Extraction du charbon	2,5	0-10
	Industries du textile	7,8	0-17
	Formulation d'encre et de peinture	350	0-1000
	Fabrication de produits du bois	30	0-90
	Gommes et résines de bois	280	0-830
	Pâtes, papiers et cartons	106	1-414
	Buanderies automatiques et autres	520	0-6600
	Industries pharmaceutiques	10	0-130
	Centrales thermiques	15	13-26
	Traitement de surface de tôle	12	0-1300
	Fonderies	1400	0-16 000
	Tannage et finition du cuir	1,4	-
	Métaux non-ferreux	3,6	0-40
Industries de fer et de l'acier	44	0-420	
Hexachloroéthane	Industries de la chimie inorganique	-	0-90
	Métaux non-ferreux	1,5	0-23
1,1-Dichloroéthane	Industries du textile	14	-
	Formulation d'encre et de peinture	10	0-33
	Tannage et finition du cuir	<3	-
	Fonderies	55	-
	Fabrication de ressort	18	-
	Métaux non-ferreux	20	0-180
	Industries sidérurgiques	8	-



COMPOSÉS	SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (µg/l)	
		MOYENNE	FOURCHETTE
1,1,2-Trichloroéthane	Formulation d'encre et de peinture	290	0-2800
	Buanderies automatiques et autres	1500	0-3000
	Industries pharmaceutiques	95	0-1300
	Tannage et finition du cuir	1,4	-
	Fonderies	10	-
	Métaux non-ferreux	1,2	0-29
1,1,2,2-Tétrachloroéthane	Transformation du caoutchouc	1,5	-
	Industries pharmaceutiques	2	0-10
	Fonderies	18	-
	Tannage et finition du cuir	5,4	-
	Métaux non-ferreux	2,8	0-35
Chloroéthane	Gommes et résines de bois	170	0-520
	Transformation du caoutchouc	4900	-
Chloroforme	Industries du textile	48	0-640
	Fabrication de produits du bois	-	0-20
	Formulation d'encre et de peinture	120	0-900
	Gommes et résines de bois	<680	<10-1400
	Transformation du caoutchouc	27	0-270
	Raffineries de pétrole	13	0-15
	Pâtes, papiers et cartons	<6	1-17
	Buanderies automatiques et autres	780	0-35 000
	Industries pharmaceutiques	300	0-1600
	Extraction et conditionnement du minéral	2,9	1,1-4,6
	Centrales thermiques	14	-
	Industries de chimie inorganique	-	0-690
	Tannage et finition du cuir	15	0-41
	Métaux non-ferreux	61	0-1800
Industries sidérurgiques	64	0-1400	



COMPOSÉS	SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS ($\mu\text{g/l}$)	
		MOYENNE	FOURCHETTE
1,1-Dichloroéthylène	Extraction du charbon	<1,4	0-10
	Industries du textile	<5	-
	Formulation d'encre et de peinture	76	0-620
	Buanderies automatiques et autres	12	0-23
	Industries pharmaceutiques	8,9	0-95
	Centrales thermiques	16	-
	Traitement de surface de tôles	15	0-240
	Métaux non-ferreux	200	0-6100
	Industries sidérurgiques	<10	-
1,2-trans-Dichloroéthylène	Formulation d'encre et de peinture	72	0-260
	Buanderies automatiques et autres	230	0-460
	Centrales thermiques	11	
	Traitement de surface de tôles	<10	0-82
	Fonderies	<6	-
	Tannage et finition du cuir	6	-
	Métaux non-ferreux	17	0-480
	Industries sidérurgiques	8	0-10
1,2-Dichloropropane	Industries du textile	100	-
	Formulation d'encre et de peinture	180	0-970
1,3-Dichloropropène	Industries sidérurgiques	<10	-



COMPOSÉS	SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS ($\mu\text{g/l}$)	
		MOYENNE	FOURCHETTE
Chlorure de méthylène	Extraction du charbon	14	0-82
	Industries du textile	47	0-110
	Fabrication de produits du bois	-	0-20
	Raffinerie de pétrole	<45	30-90
	Formulation d'encre et de peinture	17 000	0-210 000
	Gommes et résines de bois	4000	190-16 000
	Transformation du caoutchouc	19	0-70
	Pâtes, papiers et cartons	<1,9	1-4
	Buanderies automatiques et autres	64	0-640
	Industries pharmaceutiques	2600	0-20 000
	Extraction et conditionnement du minéral	5,3	2,5-8
	Centrales thermiques	2300	65-9400
	Fonderies	100	0-2400
	Métaux non-ferreux	680	0-8800
Industries sidérurgiques	50	0-140	
Chlorure de méthyle	Industries du textile	<5	-
	Fabrication de produits du bois	77	0-2600
	Industries pharmaceutiques	300	0-1500
Bromure de méthyle	Industries pharmaceutiques	3	0-15
Bromoforme	Pâtes, papiers et cartons	14	-
	Centrales thermiques	210	13-580
	Métaux non-ferreux	6,8	0-65
Dichlorobromométhane	Industries du textile	6,6	-
	Raffineries de pétrole	110	-
	Formulation d'encre et de peinture	27	-
	Buanderies automatiques et autres	10	0-33
	Industries de chimie inorganique	-	0-310
	Tannage et finition du cuir	<3	-



COMPOSÉS	SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (µg/l)	
		MOYENNE	FOURCHETTE
Chlorodibromométhane	Formulation d'encre et de peinture	43	-
	Raffineries de pétrole	110	-
	Buanderies automatiques et autres	6	0-12
	Centrales thermiques	59	-
	Métaux non-ferreux	5,4	0-81
Tétrachloroéthylène	Industries du textile	<5	0-2100
	Raffineries de pétrole	<50	-
	Formulation d'encre et de peinture	920	0-4900
	Buanderies automatiques et autres	9600	0-93 000
	Industries pharmaceutiques	3,5	0-36
	Centrales thermiques	78	-
	Industries de la chimie inorganique	-	0-196
	Fonderies	70	0-370
	Tannage et finition du cuir	12	-
	Métaux non-ferreux	14	0-310
Industries sidérurgiques	42	0-1100	
Trichloroéthylène	Extraction du charbon	<1,4	0-10
	Industries du textile	47	0-840
	Formulation d'encre et de peinture	960	0-5000
	Buanderies automatiques et autres	90	0-800
	Industries pharmaceutiques	8	0-62
	Fonderies	109	0-280
	Tannage et finition du cuir	2	-
	Traitement de surface de tôles	<10	0-310
	Métaux non-ferreux	59	0-900
Industries sidérurgiques	13	-	
Chlorure de vinyle	Industries du textile	11	-
<u>Éthers</u>			
Bis (2-chloroéthyl) éther	Industries pharmaceutiques	19	0-170
	Fonderies	4,5	-
4-Chlorophényl éther	Extraction du charbon	0,4	0-33
	Industries sidérurgiques	210	-



COMPOSÉS	SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (µg/l)	
		MOYENNE	FOURCHETTE
Bis (2 chloroisopropyl) éther	Fonderies	3,0	-
Bis (2 chloroéthoxy) éther	Extraction du charbon	11	0-50
	Fonderies	20	-
<u>Composés phénoliques</u>			
2,4,6-Trichlorophénol	Industries du textile	20	0-29
	Fabrication de produits du bois	250	0-530
	Centrales thermiques	30	-
	Tannage et finition du cuir	3000	0-25 000
	Fonderies	67	0-350
	Industries sidérurgiques	39	-
p-Chloro-m-crésol	Industries du textile	168	-
	Fonderies	42	0-280
	Industries sidérurgiques	200	0-4300
2-Chlorophénol	Extraction du charbon	12	0-86
	Industries du textile	78	-
	Fabrication de produits du bois	15	0-42
	Industries pharmaceutiques	2,4	0-22
	Centrales thermiques	27	-
	Fonderies	53	0-210
	Industries sidérurgiques	1400	0-36 000
2,4-Dichlorophénol	Industries du textile	26	0-41
	Pâtes, papiers et cartons	2	-
	Buanderies automatiques et autres	2	0-10
	Industries pharmaceutiques	1	0-5
	Centrales thermiques	240	-
	Tannage et finition du cuir	16	-
	Industries sidérurgiques	35	-



COMPOSÉS	SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (µg/l)	
		MOYENNE	FOURCHETTE
2,4-Diméthylphénol	Extraction du charbon	4,8	0-22
	Fabrication de produits du bois	1300	0-6600
	Raffineries de pétrole	100	-
	Buanderies automatiques et autres	20	0-460
	Extraction et conditionnement du minéral	270	-
	Traitement de surface de tôles	21	-
	Fonderies	81	0-1100
	Métaux non-ferreux	7	0-14
	Industries sidérurgiques	4000	0-84 000
2-Nitrophénol	Extraction du charbon	2,7	0-19
	Transformation du caoutchouc	9,4	-
4-Nitrophénol	Buanderies automatiques et autres	13	0-15
	Industries pharmaceutiques	400	0-3500
	Fonderies	400	-
2,4-Dinitrophénol	Buanderies automatiques et autres	19	-
	Industries sidérurgiques	33	0-440
4,6-Dinitro-o-crésol	Extraction du charbon	28	0-194
	Fonderies	16	0-70
	Industries sidérurgiques	130	0-970
Pentachlorophénol	Industries du textile	52	0-940
	Transformation de produits du bois	1300	0-310 000
	Formulation d'encre et de peinture	3300	0-27 000
	Transformation du caoutchouc	17	0-31
	Pâtes, papiers et cartons	4	1-9
	Buanderies automatiques et autres	3	0-9
	Industries pharmaceutiques	4,4	0-62
	Fonderies	120	0-1600
	Tannage et finition du cuir	1700	-
	Métaux non-ferreux	1,5	0-17
	Industries sidérurgiques	76	-
Phénol	Voir le début du paragraphe 4.2.9.4		



GUIDE TECHNIQUE GÉNÉRAL SUR LES EAUX INDUSTRIELLES

COMPOSÉS	SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (µg/l)	
		MOYENNE	FOURCHETTE
<u>Phtalates</u> Bis (2 éthylhexyl) phtalate	Extraction du charbon	11	0-50
	Industries du textile	26	0-860
	Fabrication d'explosifs	72	-
	Transformation de produits du bois	280	0-1500
	Raffineries de pétrole	300	180-700
	Formulation d'encre et de peinture	7300	0-87 000
	Transformation du caoutchouc	170	0-530
	Pâtes, papiers et cartons	<16	<1-66
	Buanderies automatiques et autres	1000	0-18 000
	Industries pharmaceutiques	37	0-170
	Extraction et conditionnement du minéral	12	0-50
	Bis (2 éthylhexyl) phtalate	Centrales thermiques	27
Industries de chimie inorganique		-	0-270
Traitement de surface de tôles		75	0-1100
Fonderies		21 000	0-817 000
Tannage et finition du cuir		25	-
Métaux non-ferreux		237	0-7000
Industries sidérurgiques		451	0-10 000
Butyl benzyl phtalate	Industries du textile	42	0-73
	Pâtes, papiers et cartons	61	2-100
	Buanderies automatiques et autres	34	0-1500
	Industries pharmaceutiques	33	0-360
	Extraction et conditionnement du minéral	22	0-66
	Centrales thermiques	10	-
	Traitement de surface de tôles	57	0-300
	Fonderies	29	0-180
	Métaux non-ferreux	11	0-98
	Industries sidérurgiques	34	0-340



COMPOSÉS	SOURCES INDUSTRIELLES	CONCENTRATIONS (µg/l)	
		MOYENNE	FOURCHETTE
Di-n-butyl phtalate	Buanderies automatiques et autres	24	0-410
	Traitement de surface de tôles	16	0-180
	Fonderies	710	-
	Métaux non-ferreux	25	0-390
	Industries sidérurgiques	13	0-120
Diéthyl phtalate	Extraction du charbon	3,7	0-10
	Industries du textile	6	0-86
	Raffineries de pétrole	12	-
	Pâtes, papiers et cartons	<15	<1-29
	Buanderies automatiques et autres	4	0-25
	Industries pharmaceutiques	8	0-31
	Extraction et conditionnement du minéral	2,9	0-9,6
	Centrales thermiques	11	10-11
	Fabrication de ressort	53	0-600
	Fonderies	58	0-730
	Métaux non-ferreux	4,7	0-83
Industries sidérurgiques	7	0-10	
Diméthyl phtalate	Industries du textile	12	0-14
	Transformation du caoutchouc	5	0-14
	Buanderies automatiques et autres	1	0-5
	Traitement de surface de tôles	10	0-14
	Fonderies	72	0-2200
	Tannage et finition du cuir	17	-
	Métaux non-ferreux	4,7	0-56
Industries sidérurgiques	16	0-20	
<u>Biphényles polychlorés</u>	Raffineries de pétrole	-	0,1-5
	Pâtes, papiers et cartons	-	1-18
	Fonderies	-	0-1400
	Métaux non-ferreux	-	0-52
	Industries sidérurgiques	<10	-

À la différence des autres sections de ce chapitre, il serait fastidieux de couvrir les aspects toxicologiques et écotoxicologiques des 111 composés organiques

prioritaires de EPA énumérés précédemment. On note cependant que ces composés ont été sélectionnés sur la base de leur toxicité intrinsèque, sur leurs propriétés de persistance et de bioaccumulation. De plus, il est possible de retrouver des critères de qualité de l'eau pour un grand nombre de ces composés dans le document intitulé "Critère de qualité de l'eau", MENVIQ, révision 1992.

La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse constitue une méthode analytique très précise. Il est possible de mesurer des concentrations à des niveaux très faibles de l'ordre de 10^{-9} mg/l (picogramme/l). Toutefois, pour obtenir des résultats analytiques de cet ordre de grandeur, il est nécessaire d'avoir des méthodes de laboratoire rigoureuses et des instruments de laboratoire de grandes précisions réservés pour un nombre d'analyses restreint.

En général, nous pouvons résumer à quatre étapes les manipulations au laboratoire: l'extraction, la purification, la concentration et le dosage. Par exemple, pour mesurer une concentration de BPC dans une eau usée, il est nécessaire d'avoir 2 litres d'échantillon qui seront traités par diverses manipulations de laboratoire pour obtenir un volume de 50 µl. Ce volume est injecté dans le chromatographe et l'analyse du spectre de masse permet d'établir la concentration des BPC présents dans l'échantillon.

La précision des résultats pourra être faussée par des interférences, par la présence de composés dont la concentration dans le mélange masque des pics de composés voisins, etc. Une connaissance préalable des composés recherchés ou présents dans le mélange pourra orienter les différentes manipulations de laboratoire de façon à éviter les pièges mentionnés précédemment.



SECTIONS EN COURS DE RÉDACTION

4.3 PARAMÈTRES MICROBIOLOGIQUES INDICATEURS DE POLLUTION

4.4 DEVIS DE CARACTÉRISATION DES EAUX USÉES INDUSTRIELLES

4.4.1 Identification et description des points d'échantillonnage

4.4.2 Indications relatives à la réalisation du prélèvement des échantillons

4.4.3 Choix des paramètres à analyser

4.5 RAPPORTS DE CARACTÉRISATION DES EAUX USÉES INDUSTRIELLES

4.5.1 Éléments d'un rapport de caractérisation

4.5.2 Documents à annexer



BIBLIOGRAPHIE

- 1) SEILER, Hans G., SIGEL, Helmut, SIGEL, Astrid, *"Handbook on Toxicology of Inorganic Compounds"*, Marcel Dekker Inc., New York, 1988, 1069 p.
- 2) PATTERSON, James, W., *"Industrial Wastewater Treatment Technology"*, Second Edition, Butterworth Publishers, Stoneham, Ma., 1985.
- 3) GREENBERG, Arnold E. et al., *"Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"*, American Public Health Association, Washington, D.C., 18th edition, 1992.
- 4) TCHOBANOGLIOUS, Georges, *"Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse"*, McGraw Hill, New York, 3^e édition, 1991, 1334 p.
- 5) U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, *"Guidance Manual for Preventing Interference at POTWS"*, Washington, D.C., 1987.
- 6) LEVINE, Audrey, D., TCHOBANOGLIOUS, Georges, ASANO, Takaski, *"Characterization of the Size Distribution of Contaminants in Wastewater; Treatment and Reuse Implications"*, Journal WPCF, Volume 57, Number 7, July 1985, pp. 805-816.
- 7) CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DES RESSOURCES ET DE L'ENVIRONNEMENT, *"Recommandations pour la qualité des eaux au Canada"*, Ottawa, 1987.
- 8) U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, *"Manual Nitrogen Control"*, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, 1993.



- 9) AMDUR, Mary O., DOULL, John, KLAASEN, Curtis D., *"CASARETT and DOULL'S, The Basic Science of Poisons"*, Fourth Edition, McGraw Hill, New York, 1991, 1033 p.
- 10) INTERNATIONAL AGENCY ON RESEARCH FOR CANCER, *"IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans"*, List of IARC Evaluations, IARC, Lyon, 1993, 31 p.
- 11) BUREAU D'ÉTUDES SUR LES SUBSTANCES TOXIQUES, *"Vue d'ensemble sur les substances toxiques-Métaux lourds"*, Ministère de l'Environnement du Québec, Best-23, 1980.
- 12) KRAUSKOPF, Konrad B., *"Introduction to Geochemistry"*, Second edition, McGraw Hill, New York, 1979.
- 13) GRAYSON, Martin et al., *"Kirk-Othmer Concise Encyclopedia of Chemical Technology"*, John Wiley and Sons, inc., New York, 1985, 1318 p.
- 14) U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, *"Treatability database"*, Cincinnati, Ohio, 1994.
- 15) PLAN D'ACTION SAINT-LAURENT, *"Résultats de la campagne de caractérisation"*, Direction des services techniques, 1993.
- 16) DESJARDINS R., *"Le traitement de l'eau"*, 2^e édition, École Polytechnique, 1990.
- 17) CARRIER, G., *"Réponses de l'organisme humain aux BPC, dioxines et furannes et analyse des risques toxiques"*, Le Passeur, Montréal, 1991, 484 p.

- 18) NATO/CCMS (North Atlantic Treaty Organization, Committee on the Challenges of Modern Society), *"International toxicity equivalency factor (I-TEF) method of risk assessment for complex mixture of dioxines and related compound"*, Report n°176, Brussel: North Atlantic Treaty Organization, 1988.
- 19) CHAPMAN, Peter M., ROMBERG, G. Patrick, VIGERS, Gary A., *"Design of Monitoring Studies for Priority pollutants"*, Journal WPCF, Volume 54, Number 3, March 1982.
- 20) Office of the Federal Register National Archives and Records Administration, *"Codes Federal Regulations-Protection of Environment"*, 40 Parts 400 TO 424, Washington, D.C., 1989, 801 p.
- 21) WHO/ECEH, (WORLD HEALTH ORGANISATION, EUROPEAN CENTER FOR ENVIRONMENTAL AND HEALTH), *"Toxic Equivalency Factors for Dioxins-Like PCBs"*, Chemosphere, Vol. 28, N°6, Elsevier Science Ltd, 1994, pp. 1049-1067.





CHAPITRE 5

EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES ET NORMES DE REJET

INTRODUCTION

Chacun sait que divers organismes gouvernementaux coopèrent et se partagent la juridiction à propos de la protection de l'environnement. Le lecteur est invité à consulter le chapitre 2.2 intitulé "Cadre juridique synthèse" du "Manuel des Opérations - Secteur industriel - Guide Général"⁽¹⁾ pour se familiariser avec la répartition des juridictions et les différentes législations. Les annexes 2.1 et 2.2 de ce guide général fournissent aussi des précisions intéressantes sur les lois, règlements et directives québécois et canadiens.

Dans ce chapitre nous nous limitons donc à décrire les exigences environnementales générales et particulières avant de faire un rappel des principaux règlements relatifs aux rejets liquides en vigueur au Québec.

5.1 EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES GÉNÉRALES

L'article 20 de la Loi sur la Qualité de l'Environnement (L.R.Q., c.Q-2)⁽²⁾ constitue la pierre angulaire de la protection de l'environnement au Québec. D'ailleurs c'est en vertu de cet article que plusieurs règlements limitant les concentrations ou les quantités de contaminants émis dans l'environnement sont décrétés par le gouvernement.



Il va de soi que plusieurs mesures énumérées dans le chapitre 3 sont d'abord discutées avec les représentants des industries:

- réduction de la consommation d'eau,
- réemploi des eaux peu ou non-contaminées,
- réduction de la pollution à la source,
- récupération et, si possible, recyclage de sous-produits,
- utilisation des technologies propres,
- etc.

Même s'il ne s'agit pas d'exigences formelles, la mise en oeuvre des mesures applicables peut avoir pour effet d'obtenir un effluent final qui se rapproche des normes de rejet.

Plusieurs exigences générales figurent dans tous les règlements municipaux relatifs aux rejets liquides dans les réseaux d'égout⁽³⁾. On peut mentionner notamment:

- la ségrégation des eaux;
- l'interdiction de diluer;
- la régularisation du débit (pour certaines industries);
- un pH des effluents compris entre 5,5 et 9,5;
- une température des effluents inférieure à 65°C;
- l'interdiction de jeter des solvants et autres matières explosives ou inflammables;
- l'interdiction de jeter des résidus ou des déchets susceptibles d'empêcher l'écoulement des eaux ou de nuire au fonctionnement des équipements municipaux;
- l'interdiction de jeter des produits radioactifs, des biocides ou certaines substances créant des odeurs incommodantes;
- l'obligation d'installer des regards pour vérifier le débit et les caractéristiques des eaux rejetées.

Mentionnons qu'un projet de règlement provincial, en préparation actuellement et relatif aux rejets des eaux usées dans les égouts, est susceptible d'apporter certaines modifications aux quatrième et cinquième exigences générales énumérées ci-dessus.

5.2 EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES PARTICULIÈRES

Depuis le début de la réalisation du PAEQ, le ministère de l'Environnement et de la Faune a demandé à plusieurs industries importantes de rendre leurs effluents conformes aux exigences des règlements municipaux relatifs aux rejets liquides dans les réseaux d'égouts et négocie avec elles la mise en oeuvre des programmes d'assainissement des effluents industriels. De ce fait, certaines exigences particulières ont été établies et nous indiquons ci-après celles qui s'appliquent à trois secteurs industriels importants:

5.2.1 Secteur agro-alimentaire,

5.2.2 Secteur du revêtement de surface,

5.2.3 Secteur du textile.

Il est important de noter que ces secteurs et leurs sous-secteurs, feront l'objet de guides techniques dans lesquels les exigences, les prétraitements et les traitements seront exposés plus en détail.

5.2.1 Secteur agro-alimentaire

Bien entendu, les exigences générales s'appliquent aux industries de ce secteur et, à cause de la particularité de leurs activités, on exige le respect des normes relatives aux matières grasses et huiles d'origine animale ou végétale, au phosphore total et aux chlorures.



**Tableau 5-1: Normes particulières applicables
aux industries agro-alimentaires⁽³⁾**

PARAMÈTRES	USINES EN RÉSEAU (mg/l)	USINES HORS-RÉSEAU (mg/l)
Huiles et graisses animales ou végétales (usine d'équarrissage et/ou fondoir)	100	15
Huiles et graisses animales ou végétales (usines autres que équarrissage et fondoir)	150	15
Phosphore total	100	1
Chlorures	-	1 500

Dans le cas des abattoirs industriels raccordés à un égout domestique municipal, le ministère de l'Environnement et de la Faune exige une diminution de la charge polluante organique quotidienne de 60 à 75% par la mise en place d'un prétraitement physico-chimique (floculation et flottation à l'air dissous) après le tamisage.

Quant aux laiteries et fromageries importantes en réseau, le ministère préconise l'ajustement du pH et la régularisation du débit. Les industries agro-alimentaires hors-réseau sont tenues de se conformer aux normes de rejet dans les cours d'eau.

5.2.2 Secteur du revêtement de surface

En plus des exigences générales mentionnées précédemment, le ministère de l'Environnement et de la Faune exige le respect des normes reproduites dans le tableau 5.2, pour les effluents de procédé des usines effectuant le revêtement de surface.

**Tableau 5-2: Normes particulières applicables
aux industries du revêtement de surface⁽³⁾**

PARAMÈTRES	USINES EN RÉSEAU (mg/l)	USINES HORS-RÉSEAU (mg/l)
Huiles et graisses d'origine minérale	30	15
Cyanures totaux	2	0,1
Arsenic total	1	1
Cadmium total	2	0,1
Chrome total	5	1
Cuivre total	5	1
Plomb total	2	0,1
Zinc total	10	1
Phosphore total	100	1

Les industries en réseau effectuant le revêtement de surface sont obligées d'installer un prétraitement pour rendre leurs effluents de procédé conformes aux normes ci-dessus. Il va sans dire que celles installées hors-réseau doivent recourir à des traitements épurateurs très performants pour que leurs effluents respectent les normes qui leur sont applicables.

5.2.3 Secteur du textile

En fait, les effluents des industries textiles doivent respecter les exigences générales énumérées dans le paragraphe 5.1 et les normes qui apparaissent dans les tableaux 5-1 et 5-2. À ces exigences s'ajoutent celles relatives aux sulfures totaux: 5 mg/l pour les usines en réseau et 2 mg/l pour les usines hors-réseau. Ceci ne signifie pas que les effluents des autres secteurs industriels ne contiennent pas de sulfures.



Généralement, une des caractéristiques des eaux usées qui proviennent des industries effectuant la teinture ou l'impression des tissus, est l'ampleur des fluctuations de leurs débits. Ces usines doivent donc procéder à la régularisation du débit de leur(s) effluent(s) de procédé pendant les heures de production.

Certaines de ces entreprises rejettent des eaux de procédé contenant des huiles minérales et/ou végétales, ou des graisses animales. Les procédés de production de plusieurs d'entre elles génèrent des effluents dont le pH excède les limites acceptables. Quant aux métaux lourds leurs concentrations dépassent rarement les normes relatives aux rejets dans un égout domestique municipal.

Par conséquent, ces entreprises peuvent devoir procéder au tamisage, à la régularisation du débit, à l'enlèvement des huiles ou des graisses, à l'ajustement du pH. La plupart d'entre elles doivent donc présenter et réaliser un programme d'assainissement de leurs eaux de procédé lorsqu'elles sont raccordées à l'égout municipal. Les industries hors-réseau doivent réaliser les traitements nécessaires pour que l'effluent épuré puisse être rejeté dans un cours d'eau.

5.3 RÈGLEMENTS RELATIFS AUX REJETS LIQUIDES

Chaque palier de gouvernement a élaboré des règlements relatifs aux rejets liquides depuis une douzaine d'années. Si bien que nous retrouvons trois catégories de règlements dans la province de Québec:

5.3.1 Les règlements municipaux,

5.3.2 Le règlement de la Communauté urbaine de Montréal (n° 87),

5.3.3 Les règlements de la province de Québec.

5.3.1 Les règlements municipaux

Toute municipalité qui a signé une convention de principe avec le ministère de l'Environnement et de la Faune en vue de la réalisation du programme d'assainissement des eaux municipales doit adopter un règlement relatif aux rejets dans les réseaux d'égouts de la dite municipalité. Un exemplaire du projet de règlement municipal préconisé par le ministère de l'Environnement et de la Faune figure à l'annexe 2.3 (dans Annexe 2 - Eau) du "Manuel des Opérations - Guide Général"⁽³⁾.

Le règlement municipal relatif aux rejets dans les réseaux d'égouts municipaux s'applique aux industries raccordées à ces réseaux. Il est donc possible de vérifier si les effluents sont conformes aux limites imposées par ce règlement. Dans notre jargon technique ces dernières sont souvent appelées "**NORMES DE REJET**".

Quelques cas d'exception sont susceptibles de se présenter. Il arrive occasionnellement qu'une industrie en réseau rejette une espèce chimique non réglementée dans le réseau d'égouts domestique mais qui l'est dans l'effluent de la station d'épuration municipale, ou qui, si ce n'est pas le cas, nuit à la qualité de l'eau d'une rivière utilisée pour produire de l'eau potable dans sa partie aval. Il peut aussi arriver qu'une industrie hors-réseau, avec ou sans épuration de ses effluents, rejette dans le cours d'eau le plus proche une espèce chimique peu commune et/ou des micro-organismes susceptibles de nuire à l'un ou l'autre des usages de ce cours d'eau.

Pour régler ces cas particuliers, nous faisons appel à la Direction des écosystèmes aquatiques qui recommande des "**OBJECTIFS ENVIRONNEMENTAUX DE REJET**".

En effet, le ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec est chargé d'identifier les contraintes pour la protection de la santé humaine et des



ressources biologiques dans une optique de maintien et de récupération des usages de l'eau et des ressources biologiques aquatiques. Dans ce contexte, le Ministère doit élaborer des objectifs environnementaux de rejet pour les sources ponctuelles de pollution de l'eau. Ces objectifs sont déterminés à partir de la connaissance du cours d'eau récepteur et du niveau de qualité désiré défini en fonction des usages potentiels du milieu. Ces usages sont protégés par l'utilisation de critères de qualité narratifs, de toxicité globale ou numériques. Les critères narratifs sont de nature générale et ils sont principalement reliés à la protection de la qualité esthétique des plans d'eau. Ils comprennent aussi une recommandation générale qui prohibe toute substance en concentration toxique pour la santé humaine, la vie aquatique ou la faune terrestre. Les critères de toxicité globale sont exprimés en unités toxiques et permettent grâce à un ou plusieurs bioessais de s'assurer que la recommandation narrative citée précédemment est respectée pour la vie aquatique. Finalement, les critères numériques sont spécifiques à un contaminant et à un usage. Ils reflètent l'état des connaissances sur les effets nuisibles des contaminants. Ils s'expriment généralement en terme de concentration qui, si elle est dépassée, risque d'entraîner la perte complète ou partielle de l'usage auquel elle correspond⁽⁴⁾.

5.3.2 Le règlement de la Communauté urbaine de Montréal (n° 87)

La C.U.M. a adopté le règlement n° 87 intitulé "Règlement relatif aux rejets des eaux usées dans les réseaux d'égouts et les cours d'eau". Il comporte quelques différences mineures par rapport au contenu du projet de règlement mentionné dans le paragraphe précédent.

5.3.3 Les règlements de la province de Québec

L'énumération est limitée aux règlements et aux directives qui sont susceptibles de concerner les établissements industriels. Les raffineries de pétrole et les fabriques de pâtes et papiers sont régies par des règlements spécifiques:

- le Règlement sur les effluents liquides des raffineries de pétrole (R.R.Q., 1981, c. Q-2, r. 6);
- les règlements sur les fabriques de pâtes et papiers (R.R.Q., 1981, c. Q-2, r. 12 et, 1992, c.Q-2, r. 12.1).

Plusieurs entreprises hors-réseau, dont le volume et la charge polluante des eaux de procédé sont relativement faibles, peuvent les traiter conformément au règlement r.8 dont le titre est:

- le Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées (R.R.Q., 1981,c. Q-2, r. 8).

Toutefois, pour les entreprises hors-réseau dont le volume et la charge polluante des eaux de procédé sont appréciables, il est fortement recommandé d'utiliser le cahier technique intitulé "Fosses septiques et éléments épurateurs"⁽⁵⁾, afin de vérifier si les installations proposées ou existantes sont adéquates.

Certaines industries peuvent recourir à des réseaux d'aqueduc et d'égouts exploités par des organismes privés. De tels réseaux sont régis par un règlement spécifique:

- le Règlement relatif aux entreprises d'aqueduc et d'égout (R.R.Q., 1981, c. Q-2, r .7).

Rappelons que les effluents des industries minières doivent être conformes aux exigences stipulées dans la "Directive n° 019" intitulée "Directive sur les industries minières".

Le lecteur peut consulter le "Manuel des Opérations - secteur Industriel -Guide Général"⁽¹⁾ dans lequel il trouvera un résumé des principaux règlements.



BIBLIOGRAPHIE

- 1) Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, "*Manuel des Opérations - Secteur industriel - Guide Général*", Avril 1992.
- 2) Assemblée Nationale de la Province de Québec, "*Loi sur la qualité de l'Environnement*", L.R.Q., c.Q-2 - Dernière modification: 1^{er} octobre 1992.
- 3) Ministère de l'Environnement et de la Faune, "*Manuel des Opérations - Secteur industriel - Guide Général*", Annexe 2.3 de l'Annexe 2 - Eau, Avril 1992.
- 4) Ministère de l'Environnement et de la Faune, "*Critères de qualité de l'eau*", 1990 (rév. 1992).
- 5) Ministère de l'Environnement et de la Faune, "*Cahier technique - Fosses septiques et éléments épurateurs*", Novembre 1995.



CHAPITRE 6

TRAITEMENTS CONJOINTS MUNICIPALITÉ-ENTREPRISE

INTRODUCTION

Les eaux de procédé des industries raccordées au réseau d'égouts municipal sont (ou seront) traitées par la station d'épuration municipale, en autant qu'elles soient conformes au règlement municipal relatif aux rejets dans les égouts municipaux et/ou à des charges négociées lors de la mise en place des plans correctifs. On parle alors d'un traitement conjoint dans lequel la charge polluante d'une industrie spécifique peut représenter une proportion plus ou moins importante de la charge totale à épurer.

Le "Cadre de gestion" relatif à la réalisation des projets municipaux du programme d'assainissement des eaux (décret 37-89) et le guide technique sur la réalisation des études préliminaires⁽¹⁾ prévoient que dans de tels cas une entente industrielle relative au financement et à l'utilisation des ouvrages d'assainissement des eaux sera signée entre la municipalité et chaque industrie concernée.

Nous conseillons au lecteur de se référer au "Guide Général du Manuel des Opérations pour le secteur industriel"⁽²⁾ s'il éprouve le besoin de se familiariser avec le cadre administratif synthèse et les interventions qui régissent le volet - eau, notamment les schémas qui apparaissent aux pages 12, 19, 20 et 23 ainsi qu'aux annexes pertinentes regroupées dans "l'annexe 2 - eau" de ce guide général⁽¹⁾.



6.1 ENTENTE MUNICIPALITÉ-INDUSTRIE

Le guide technique sur la réalisation des études préliminaires⁽¹⁾ recommande, pour toute usine dont la charge de DBO_5 et/ou le débit représentent plus de 10% de la charge ou du débit de la station d'épuration, que la participation aux coûts de construction et d'opération des ouvrages d'assainissement soit établie selon une entente entre la municipalité et l'entreprise concernée.

Depuis quelques années, la Société québécoise d'assainissement des eaux (SQAÉ) incite fortement les municipalités à négocier une entente du même type avec chaque entreprise qui doit procéder au prétraitement de ses eaux usées avant le rejet de celles-ci au réseau municipal, même si les conditions mentionnées dans le paragraphe précédent ne sont pas atteintes.

Selon l'établissement industriel concerné, les informations suivantes figurent en totalité ou en partie dans l'entente:

- charge hydraulique journalière moyenne (m³/d)
- charge hydraulique journalière maximale (m³/d)
- charge hydraulique horaire maximale (l/s)
- charge organique (en DBO_5) journalière moyenne (kg/d)
- charge organique (en DBO_5) journalière maximale (kg/d)
- charge journalière moyenne en MES (kg/d)
- charge journalière maximale en MES (kg/d)
- charge journalière moyenne en P_t (kg/d)
- charge journalière maximale en P_t (kg/d)
- etc.

L'annexe 2.21 intitulée "Entente municipalité-industrie relativement au financement des ouvrages", dont un modèle est incorporé au "Guide Général du Manuel des Opérations"⁽²⁾, donne une idée assez précise du contenu de ce genre d'entente.



Les caractéristiques des eaux usées incorporées dans cette entente sont établies lors de la réalisation du "programme d'assainissement des eaux - volet industriel", étape au cours de laquelle le chargé de projets détermine les débits et charges préliminaires. L'industrie confirme les débits et charges qu'elle veut réserver à la station d'épuration municipale; le tout étant en quelque sorte officialisé par la transmission de la version finale du tableau 14⁽²⁾.

6.2 PRINCIPAUX TRAITEMENTS MUNICIPAUX

La section 2.4.2.2 du "Guide Général du Manuel des Opérations pour le secteur industriel"⁽²⁾ présente un résumé des principales activités et des interactions entre les intervenants du "Programme d'assainissement des eaux - volet municipal". On remarque notamment que la phase 2, intitulée "études préliminaires" comporte l'analyse des variantes de traitement qui se termine par l'élaboration et l'optimisation de la solution retenue.

Le tableau 6-1 donne un aperçu des types de traitement qui ont été installés dans la province de Québec dans le cadre du PAE - volet municipal.

Tableau 6-1: Principaux types de traitement des eaux usées municipales au Québec³

TYPES DE TRAITEMENT	NOMBRE	PRINCIPALES MUNICIPALITÉS
Étangs aérés	268	Acton Vale, Bromont, Cookshire, Donnacona, Grand-Mère, La Baie, Matane, Plessisville, Saint-Valérien, Sorel, Trois-Rivières, Windsor, etc.
Boues activées	36	Beauceville, Cowansville, Farnham, Granby, Saint-Georges-de-Beauce, Saint-Hyacinthe, Salaberry-de-Valleyfield, Thetford-Mines, Val d'Or, Victoriaville, etc.
Installations septiques communautaires	21	Bonsecours, La Conception, Launay, St-Alphonse, Stoke, Val-Morin, etc.
Disques biologiques	14	Bouchette, Chapeau, Percé, Saint-Hugues, Sainte-Hélène de Bagot, etc.
Étangs non aérés	21	Frontenac, Martinville, Saint-Donat, Saint-Tharcisius, Stornoway, etc.
Filtres biologiques	8	Boisbriand, Châteauguay, Québec, Sherbrooke, etc.
Physico-chimiques	4	Communauté urbaine de Montréal, Longueuil, Fabreville.
Autres	4	

N.B.: Au début de 1995, 375 stations d'épuration desservant 453 municipalités étaient opérationnelles.



L'Association québécoise des techniques de l'environnement (AQTE) produit chaque année un répertoire⁽⁴⁾ dans lequel figurent les renseignements suivants pour la plupart des stations d'épuration municipales:

- capacité de traitement (m³/d),
- charge organique quotidienne (kg DBO₅/d),
- liste des traitements.

Pour obtenir des informations techniques plus précises, le chargé de projets peut contacter le Service de l'assainissement des eaux et du traitement des eaux de consommation qui produit un bilan annuel⁽³⁾ sur toutes les stations d'épuration dont il a la responsabilité d'assurer le suivi ou le "Service municipal" de la Direction régionale du ministère de l'Environnement et de la Faune lorsque le dossier a été régionalisé.

CONCLUSION

Même si les Services industriels des Directions régionales du Ministère prennent les dispositions nécessaires pour éviter que les stations d'épuration municipales ne soient perturbées par les eaux usées industrielles, il arrive que l'expansion d'une entreprise, le manque de surveillance des prétraitements industriels, le rejet de charges subites, le déversement de substances nocives, etc., influencent négativement les rendements de certains ouvrages d'assainissement municipaux.

Cependant, le rapport d'évaluation des ouvrages municipaux d'assainissement (année 1991)⁽³⁾ mentionne que:

"lorsque les eaux usées parviennent adéquatement aux stations d'épuration, on constate que celles-ci fournissent en moyenne un rendement très satisfaisant. Pour 165 stations ayant fait l'objet d'une analyse complète en 1991, on observe un rendement moyen annuel d'élimination de la DBO₅, des MES et du phosphore égal respective-

ment à 90%, à 89% et à 74% (station où la déphosphatation est pratiquée).

Si l'on prend en compte seulement les étangs aérés, le rendement moyen annuel d'élimination de la DBO_5 , s'établit à 88%, ce qui est excellent et montre que le choix de ce procédé de traitement est bien adapté au Québec, compte tenu notamment de la taille des municipalités, dont la majorité requiert une capacité de traitement inférieure à 5 000 m^3/d .

BIBLIOGRAPHIE

- 1) Ministère de l'Environnement du Québec, "*Guide technique sur la réalisation des études préliminaires*", Direction de l'assainissement urbain, 1989.
- 2) Ministère de l'Environnement du Québec, "*Manuel des Opérations - Secteur industriel - Guide général*", Avril 1992.
- 3) Ministère de l'Environnement du Québec, "*Rapport d'évaluation des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux du PAEQ*", Année 1992, Direction de l'assainissement urbain, Novembre 1992.
- 4) Association québécoise des techniques de l'environnement, "*Répertoire 1993-1994*", Mars 1993.



CHAPITRE 7

TRAITEMENTS EFFECTUÉS PAR LES ENTREPRISES

7.1 INTRODUCTION

On a signalé sommairement dans le chapitre 4 que les caractéristiques des effluents varient d'un secteur industriel à l'autre et que certains paramètres ont des répercussions radicales sur les écosystèmes aquatiques ou sur les ouvrages municipaux. Il est donc compréhensible que des normes aient été édictées, c'est ce qui a été rappelé au chapitre 5.

Pour respecter ces normes, certaines usines en réseau sont dans l'obligation d'effectuer le prétraitement de leurs effluents et, par ailleurs, quelques-unes, à cause de leurs particularités ou de leur importance, doivent signer une entente avec la municipalité tel que mentionné au chapitre 6.

Quant aux entreprises hors-réseau, elles sont assujetties au respect des normes des règlements municipaux relatifs aux rejets dans les réseaux d'égout, plus précisément celles qui se rapportent aux effluents déversés dans les réseaux d'égouts pluviaux. Quelques entreprises, notamment celles dont les rejets liquides contiennent des substances toxiques, sont astreintes à respecter des critères de rejet établis par le Service de l'évaluation des rejets toxiques. Le ministère de l'Environnement et de la Faune exige que les industries hors-réseau effectuent l'épuration complète de leurs eaux usées, c'est-à-dire qu'elles réalisent le(s) prétraitement(s), le traitement secondaire et, si nécessaire, le traitement tertiaire de leurs effluents.



Ce chapitre a donc pour objectif d'expliquer les principaux traitements applicables aux eaux usées industrielles. Ces traitements ont été regroupés en quatre catégories:

- les correctifs mineurs;
- les traitements préliminaires;
- les traitements physico-chimiques;
- les traitements biologiques.

7.2 CORRECTIFS MINEURS

Les effluents aqueux industriels sont généralement caractérisés par des fluctuations importantes du pH, du débit et de la charge polluante. Ces fluctuations dépendent des types de production et de la fréquence des changements de production, des activités spécifiques réalisées par des équipes de travail différentes, des activités de production diverses exécutées dans des départements variés, de vidanges périodiques ou non de bassins volumineux, etc.

Afin d'éviter que ces fluctuations aient des répercussions néfastes sur le réseau d'égouts domestiques, les stations de pompage ou l'efficacité des systèmes d'épuration, le ministère de l'Environnement et de la Faune demande aux industries d'apporter des correctifs qualifiés de mineurs, parce qu'ils modifient très peu la charge polluante quotidienne des effluents industriels visés. Environnementalement parlant, l'ajustement du pH, la régularisation du débit et la régularisation de la charge constituent des correctifs mineurs. Toutefois, il est bon de rappeler que leur installation peut entraîner des dépenses assez considérables.

7.2.1 L'ajustement du pH

7.2.1.1 Généralités

De nombreuses industries rejettent des eaux de procédé tantôt acides, tantôt basiques. Il s'agit notamment des fromageries, des laiteries, des salaisons, des usines d'embouteillage de jus de fruits, etc., qui procèdent à des lavages alcalins (pH compris entre 9 et 12) et à des lavages acides (pH compris entre 2 et 4). À ces entreprises s'ajoutent celles qui effectuent le revêtement de surfaces dont les eaux de rinçage ont des pH fortement alcalins ou fortement acides, selon l'opération qui précède le rinçage. Plusieurs industries textiles rejettent des eaux de procédé dont le pH se situe en dehors de la plage prescrite par les règlements municipaux, on peut mentionner notamment celles qui procèdent à la teinture du jean, de la laine, des tissus en polyester, etc.

Les pH extrêmes causent des dommages aux écosystèmes aquatiques ainsi qu'aux ouvrages d'assainissement; dans ce dernier cas, il y a, à titre d'exemple, la corrosion des tuyaux d'égout en béton et des équipements de traitement en acier, galvanisé ou non, par les effluents acides. De plus, ces pH peuvent affecter l'efficacité des traitements physico-chimiques et des traitements biologiques.

Lorsque le pH des effluents est inférieur à 5,5, les industries doivent l'ajuster en ajoutant une base, telle que:

- l'hydroxyde de sodium (NaOH);
- l'hydroxyde de calcium (Ca(OH)₂);
- le carbonate de sodium (Na₂CO₃);
- l'hydrogénocarbonate de sodium (NaHCO₃).

Si le pH est supérieur à 9,5, l'ajustement du pH se fait par l'addition d'un acide, comme:



- l'acide sulfurique (H_2SO_4) ou
- l'acide chlorhydrique (HCl) ou
- le dioxyde de carbone (CO_2).

On peut consulter le livre intitulé "Pretreatment of Industrial Wastes"⁽¹⁾ pour approfondir la notion d'ajustement de pH et se documenter sur le traitement des eaux usées industrielles.

7.2.1.2 Cas possibles

Dans la pratique, l'ajustement du pH est rarement simple et voici quelques exemples de situations auxquelles sont confrontées certaines entreprises:

- débit et pH relativement constants;
- débit variable et pH relativement constant;
- débits et pH variables;
- autres considérations.

a) Débit et pH relativement constants

Un débit et un pH relativement constants constituent deux conditions rares surtout lorsque l'entreprise déverse à l'égout ses eaux de procédé au fur et à mesure qu'elles sont produites. Par contre, en examinant une opération spécifique à l'intérieur d'une ligne de production, comme le décapage à l'acide, dans un laminoir de tôles d'acier, les eaux de rinçage des tôles après leur passage dans un bain d'acide chlorhydrique seront acides. La préparation des tôles étant régulière, le débit et le pH des eaux de rinçage varient peu. L'ajustement du pH est facile dans un tel cas puisqu'il suffit de régler le débit de la pompe doseuse et de s'assurer que le mélange après l'addition du produit alcalin est adéquat.

Exemple: si le pH = 2, la concentration des ions hydrogène ($[H^+]$), ceux-ci sont désignés dorénavant par le mot hydrons⁽²⁾ = 10^{-2} mole/litre = 10^{-2} équivalent/litre. Pour 100 m³ (100 000 l) il y a 1000 équivalents d'hydrons à neutraliser.

Puisqu'il faut utiliser 1 équivalent d'ions OH⁻ pour 1 équivalent d'ions H⁺, il faudra 1000 équivalents de NaOH parce que 1 NaOH se dissocie en formant 1 Na⁺ et 1 OH⁻ (NaOH = Na⁺ + OH⁻)

1 équivalent de NaOH = 40 g

$$(1 \text{ équivalent} = \frac{\text{Poids moléculaire}}{\text{valence}})$$

donc 1000 équivalents de NaOH = 40 000 g ou 40 kg.

Étant donné que l'hydroxyde de sodium (communément appelé soude caustique) est livré en solution aqueuse dont la concentration en NaOH est 50%, soit 760 g de NaOH par litre de solution (d = 1,52), il faut mélanger 52,6 l de cette solution aux 100 m³ d'eaux usées pour ajuster le pH. Il s'agit d'ajuster le débit de la pompe doseuse du NaOH au débit des eaux rejetées.

b) Débit variable et pH relativement constant

Lorsqu'une industrie rejette un effluent caractérisé d'une part, par un pH sensiblement constant et d'autre part, par un débit très fluctuant, la méthode la plus simple consiste à uniformiser les caractéristiques des eaux. Ceci peut être fait en construisant un bassin de régularisation du débit qu'on prendra soin d'agiter. La technique de régularisation du débit est expliquée au paragraphe 7.2.2. L'effluent étant stabilisé, on procède à l'injection du produit neutralisant dans la conduite de rejet entre la sortie du bassin de régularisation et le regard d'échantillonnage. Dans ces conditions, il est facile de comprendre que la régularisation du débit rend plus aisé le contrôle du pH.





$$1 \text{ équivalent } \text{H}_2\text{SO}_4 = 49 \text{ g} \quad \left(\frac{\text{Poids moléculaire}}{\text{valence}} = \frac{98}{2} \right)$$

Donc 2500 équivalents $\text{H}_2\text{SO}_4 = 122\,500 \text{ g}$ ou 122,5 kg.

Étant donné que l'acide sulfurique est disponible à une concentration de 96%, soit 1767,4 g de H_2SO_4 par litre ($d = 1,841$), il faut mélanger 69,4 l de ce produit aux 500 m³ d'eaux usées pour ajuster le pH.

Le traitement de cet effluent pourrait donc être réalisé selon les modalités décrites dans le paragraphe b.

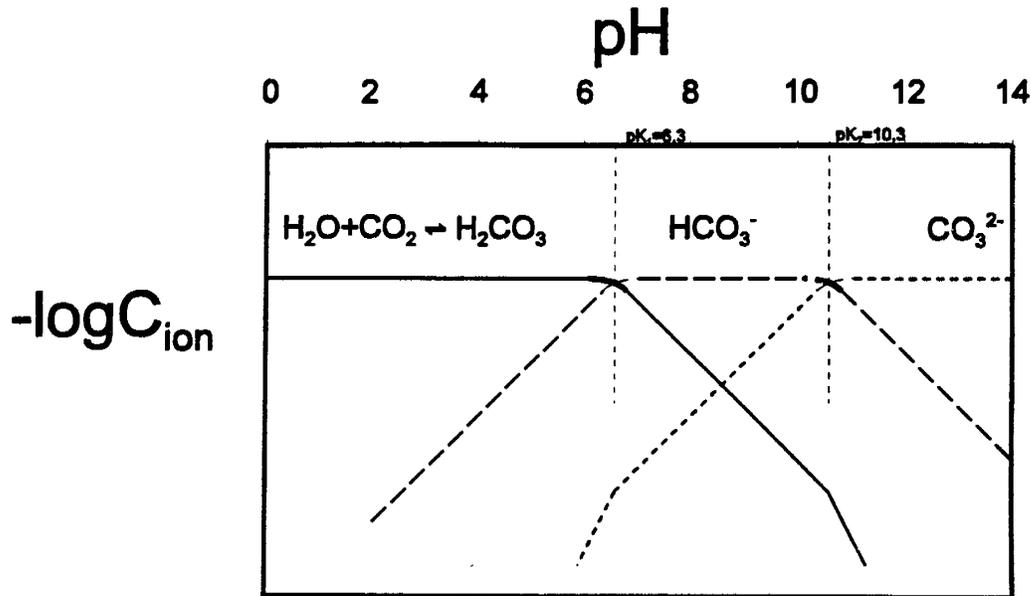
- ii. Dans une fromagerie, le conditionnement de l'eau potable se résume très souvent à un adoucissement. Il est réalisé en utilisant une résine échangeuse d'ions qui retient les ions calcium et magnésium. Par conséquent, les hydrogénocarbonates et les carbonates initialement présents persistent dans les eaux de procédé. Par ailleurs, les lavages alcalins et la désinfection, réalisée par l'action d'une solution d'hypochlorite de sodium, introduisent des hydroxydes, des phosphates, des silicates, des carbonates et des hydrogénocarbonates selon la composition des produits utilisés. L'ajustement du pH nécessite l'injection d'acide pour neutraliser l'alcalinité due à ces catégories d'anions. Les réactions chimiques en jeu sont:





La figure 7-1 illustre, en fonction du pH, la prédominance relative des espèces chimiques qui entrent en jeu dans l'un ou l'autre des quatre équilibres chimiques impliquant l'eau et le dioxyde de carbone.

Figure 7.1: Évolution du dioxyde de carbone en solution aqueuse en



fonction du pH⁽³⁾

Le calcul de la quantité d'acide à ajouter exige la détermination de l'alcalinité des eaux usées selon la procédure décrite dans "Standard Methods"⁽⁴⁾ puisque la concentration de chacun des ions ci-dessus n'est pas connue.

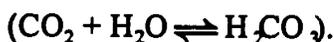
Remarques:

- Lorsqu'on ajuste le pH d'une eau nettement alcaline, il n'est pas nécessaire de faire baisser le pH au-dessous de 7, c'est-à-dire jusqu'à l'obtention des réactions:



Théoriquement l'ajout d'acide est suffisant lorsque le pH résultant est inférieur à 9,5 pour rejeter l'effluent dans un cours d'eau ou dans les égouts municipaux, si tous les autres paramètres sont respectés. Cependant, lorsqu'on ajuste le pH des eaux usées alcalines par l'injection d'un acide fort, le pH chute souvent brusquement entre les unités de pH 8 et 10. En pratique, il n'est donc guère possible d'arrêter l'ajout d'acide lorsque le pH atteint 9,5.

- Quant à la fromagerie Agropur citée au paragraphe c, lorsque les eaux sont alcalines, l'ajustement du pH, exigé pour le bon fonctionnement du réacteur anaérobie, pourrait être réalisé en utilisant le dioxyde de carbone:



Les ions à neutraliser sont: OH^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} :



On peut signaler deux avantages lorsqu'on met en oeuvre un procédé d'ajustement du pH des eaux alcalines en injectant du dioxyde de carbone:

- les eaux ne deviennent jamais très acides;
- le procédé n'introduit pas d'ions peu intéressants dans les eaux à épurer tels que les chlorures ou les sulfates. On augmente simplement l'alcalinité.
- À d'autres moments dans les fromageries, les lavages acides et la désinfection réalisée avec l'iode engendrent des effluents acides. Les deux acides les plus couramment employés sont l'acide phosphorique et l'acide nitrique.

L'acide nitrique est classé dans la catégorie des acides forts et en solution aqueuse il est complètement dissocié en ions H^+ (H_3O^+) et NO_3^- :



L'acide phosphorique (H_3PO_4), un acide plus faible, est incomplètement dissocié:



($H_2PO_4^-$ est légèrement acide et cet ion prédomine entre les pH 2 et 7)⁽³⁾



(HPO_4^{2-} est légèrement basique et cet ion prédomine entre les pH 7 et 12)



(PO_4^{3-} est fortement basique et cet ion prédomine au-dessus de pH 12)



Ces équations révèlent qu'il n'est pas nécessaire de neutraliser la totalité des ions H_3O^+ produits par les dissociations successives de l'acide phosphorique lorsque l'on doit ajuster le pH.

Dans une telle situation, si l'on veut calculer la quantité d'hydroxyde de sodium ou de chaux nécessaire à l'ajustement du pH il faut procéder à la détermination de l'acidité en utilisant la phénolphtaléine comme indicateur coloré (pH au point de virage: 8,3) selon la procédure décrite dans "Standard Methods"⁽⁴⁾ puisque la concentration de chacun des ions mentionnés ci-dessus n'est pas connue.

L'acidité de certains effluents industriels peut être influencée par le dioxyde de carbone (acide carbonique), l'acide sulfhydrique (H_2S), l'ion ammonium (NH_4^+ , communément désigné par l'expression "azote ammoniacal") et divers sels acides (sulfate d'aluminium, chlorure de fer (III), etc):



- Les explications exposées dans les sous-paragraphes qui précèdent révèlent finalement que l'ajustement du pH n'est pas toujours aisé à réaliser. En fait, dans les fromageries on recommande que les eaux des lavages alcalins et acides soient déversées dans un grand bassin pour qu'une co-neutralisation s'effectue, et que la même procédure soit appliquée aux eaux de rinçage mélangées dans un autre bassin. Selon les pH résultants, deux systèmes d'ajustement du pH entreraient en action avant le rejet de chaque effluent à l'égout municipal.

Il faut rappeler que les solutions désinfectantes contenant de l'hypochlorite de sodium ne doivent pas être déversées dans un bassin contenant des eaux acides puisque des émanations toxiques de chlore se répandraient.

Le stockage temporaire des eaux de procédé dans un même bassin est aussi réalisé dans les industries du revêtement de surface lorsque le prétraitement des eaux des rinçages alcalins et acides sont compatibles (par exemple, lorsqu'elles ne sont pas contaminées par des cyanures ou du chrome hexavalent). Une co-neutralisation se produit alors et le pH est ajusté ensuite en amont du traitement physico-chimique. Un guide technique spécifique à ce secteur fournira de plus amples renseignements.

Le stockage dans un même bassin, des effluents provenant des régénérations acides et alcalines d'un système de déminéralisation de l'eau d'approvisionnement est également recommandé. Avant de rejeter ces eaux, une vérification du pH est nécessaire et un ajustement du pH est fait au besoin. Lorsque le pH final se situe entre 5,5 et 9,5, ces eaux peuvent être rejetées dans l'égout pluvial ou dans un cours d'eau, pourvu que toutes les autres normes soient respectées.

En résumé, la ségrégation de certaines eaux de procédé peut être justifiée à partir de ces considérations particulières.

7.2.2 Régularisation du débit

7.2.2.1 Généralités

Dans la section précédente, il a été fait mention que la régularisation du débit élimine ou amoindrit les fluctuations du pH en uniformisant l'alcalinité ou l'acidité des effluents des différentes sources. D'une façon générale, on demande la régularisation du débit lorsque celui-ci fluctue suffisamment pour causer un



surdimensionnement des équipements de pompage ou de traitement subséquents, ou un engorgement du réseau d'égouts (le cas échéant). On observe de telles fluctuations dans les secteurs du textile (teintureries), des pâtes et papiers, de la pétrochimie, de l'agro-alimentaire, etc. et, d'une façon générale, dans toute entreprise qui procède à une vidange rapide d'eaux de procédé.

La régularisation du débit consiste à entreposer temporairement l'effluent afin de le déverser à un débit relativement constant pendant une période de temps définie. Cette dernière peut s'étaler sur 8, 16 ou 24 h et exceptionnellement sur 5 ou 7 jours. La régularisation du débit est exigée (ou fortement conseillée) pour:

- atténuer l'impact des effluents sur les ouvrages d'assainissement municipaux;
- alimenter régulièrement le système de prétraitement ou de traitement de l'usine.

Le stockage temporaire des eaux de procédé dans un bassin d'égalisation entraîne la sédimentation des matières en suspension plus ou moins denses et risque de favoriser l'amorce d'une fermentation anaérobie. Des précautions doivent être prises pour minimiser ces deux problèmes, notamment en installant un système d'agitation ou d'aération des eaux. Dans le cas des industries agro-alimentaires, l'aération est indispensable puisque la demande immédiate en oxygène est très élevée. La gravité des problèmes augmente lorsque le bassin d'égalisation est surdimensionné.

7.2.2.2 Détermination graphique du volume du bassin d'égalisation

Tel que mentionné précédemment, le débit d'un effluent industriel peut varier considérablement au cours d'une journée. Le tableau 7-1 illustre les fluctuations des débits horaires d'une usine fictive pendant 24 heures. Cet exemple peut refléter la mesure quotidienne du débit dans une fromagerie, une teinturerie, une

fabrique de tapis, etc. L'égalisation d'un tel effluent s'effectue généralement par l'entremise d'un bassin tampon; le volume du bassin nécessaire à l'égalisation peut être calculé de plusieurs façons mais l'EPA⁽⁵⁾ présente une méthode sûre et relativement simple qui fait appel au graphique de l'accumulation d'eau en fonction du temps, nommé "hydrogramme".

Tableau 7-1: Relevé des débits horaires et calcul du volume cumulatif

HEURE	DÉBIT HORAIRE (m ³ /h)	VOLUME CUMULATIF (m ³)
07:00	-	0
08:00	11,2	11,2
09:00	15,3	26,5
10:00	50,2	76,7
11:00	80,2	156,9
12:00	115,2	272,1
13:00	130,2	402,3
14:00	125,2	527,5
15:00	80,9	608,4
16:00	72,4	680,8
17:00	69,8	750,6
18:00	75,8	826,4
19:00	75,8	922,2
20:00	115,4	1037,6
21:00	138,8	1176,4
22:00	155,3	1331,7
23:00	135,3	1467,0
00:00	106,5	1573,5
01:00	70,5	1644,0
02:00	52,3	1696,3
03:00	36,3	1732,6
04:00	33,3	1765,9
05:00	11,2	1777,1
06:00	11,6	1788,7
07:00	12,4	1801,1

La construction de l'hydrogramme reproduit à la figure 7-2 et la détermination du volume du bassin de régularisation du débit se font ainsi:

- tracer le graphique du volume d'eau rejeté en fonction du temps (voir 3^e colonne du tableau 7.1 et la courbe "V" de la figure 7.2);
- tracer la droite de l'origine au point final de la courbe "V" (droite "moy" de la figure 7-2). La pente "m" de cette droite est le débit moyen de l'effluent de l'usine;
- tracer une droite de pente "m" tangente à la courbe "V" au point le plus distant au-dessus de la droite "moy" (voir "max" au-dessus de la droite en question);
- tracer une droite de pente "m", tangente à la courbe "V", au point le plus distant au-dessous de la droite "moy" (voir "min" au-dessus de la droite en question);
- on dresse une verticale (à n'importe quelle heure). La distance entre les points d'intersection (voir A et B sur la figure 7-2) de cette verticale et des droites "max" et "min", lue sur l'axe des ordonnées, correspond au volume minimum requis pour égaliser l'effluent convenablement.

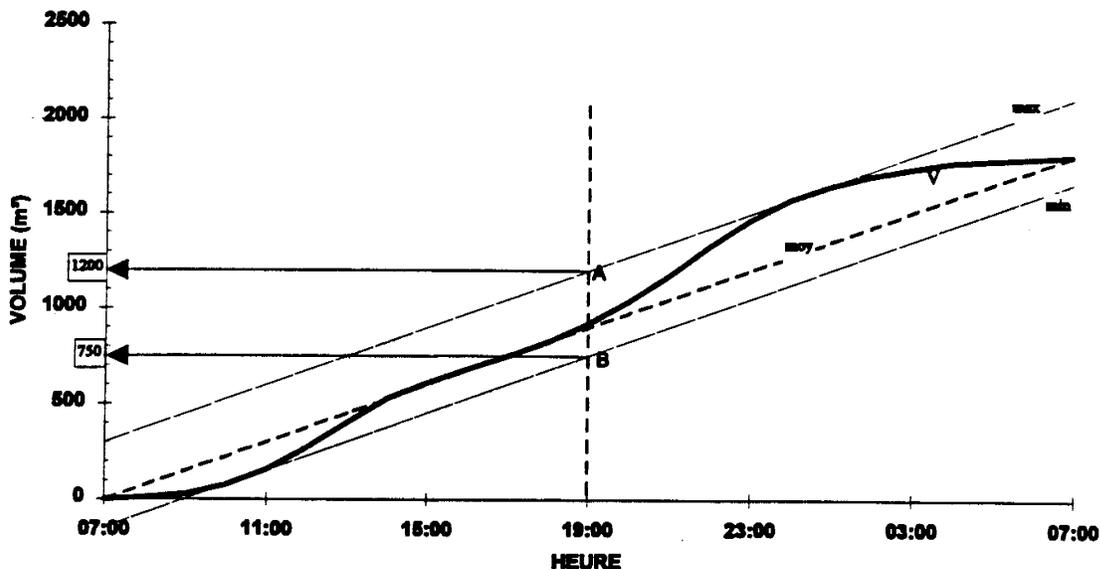


Figure 7-2: Hydrogramme du débit de l'industrie fictive et volume du bassin de régularisation du débit

Donc, dans cet exemple, le volume minimum du bassin de régularisation du débit est 450 m³ (1200-750). On recommande de faire la mesure des débits horaires et la détermination du volume du bassin d'égalisation au moins pendant trois journées représentatives des activités normales de l'usine concernée. Dans la plupart des cas, on majore la moyenne des volumes minimums requis pour atténuer les pointes intempestives des débits horaires. Si 450 m³ était la moyenne de trois déterminations du volume minimum requis, on recommanderait de construire un bassin de 540 m³, voire de 585 m³.

Le facteur de sécurité est d'autant plus grand que les fluctuations des débits horaires sont importantes ou qu'une expansion de l'entreprise est envisageable. De plus, il faut tenir compte d'un certain volume résiduel dû au fait que le bassin d'égalisation n'est jamais complètement vidé.

Le débit sera régularisé en autant que le dispositif d'évacuation des eaux retenues dans ce bassin soit convenablement conçu.

7.2.2.3 Détermination du volume du bassin d'égalisation par micro-informatique

La micro-informatique permet également de calculer ce volume en traçant l'hydrogramme en utilisant un chiffrier (Lotus 1-2-3, Excel, Quattro Pro ou autre). Les tableaux 7-2 et 7-3 reprennent les valeurs du tableau 7-1 et montrent une méthode de calcul. Le tableau 7-2 constitue la feuille de calcul tandis que le tableau 7-3 présente les formules utilisées. Les colonnes correspondent aux calculs ou valeurs suivants:

"A": l'heure de la mesure des débits horaires;

"B": les débits horaires mesurés d'heure en heure;



- "C": le volume rejeté depuis la première mesure du débit horaire;
- "D": le temps écoulé depuis la première mesure du débit horaire (cette valeur sert à plusieurs calculs);
- "E": la droite moyenne calculée en effectuant le quotient du volume quotidien par 24 (24 heures, le temps d'égalisation) et en multipliant par le temps écoulé (colonne D);
- "F": la différence entre la droite moyenne et la courbe du volume accumulé. Cette valeur donne les minima et maxima nécessaires à la construction des droites "max" et "min" qui sont en fait, la droite moyenne, décalée des valeurs maximum et minimum. (Remarque: à ce point, le volume du bassin peut être calculé par la soustraction: droite maximale - droite minimale);
- "G": la droite "max", qui est en fait la droite moyenne (colonne E) additionnée de la valeur maximum de la colonne F du tableau 7-2 (298,5 dans cet exemple);
- "H": la droite "min", qui est la droite moyenne (colonne E) additionnée de la valeur minimum de la colonne F du tableau 7-2 (-148,3 dans cet exemple);
- "I": le volume du bassin d'égalisation, la différence de la droite max. et de la droite min. à tout point. Les valeurs dans cette colonne devraient être égales.

Si on trace alors l'hydrogramme, on reporte les valeurs de la colonne "A" en abscisse et celles des colonnes "C", "E", "G", et "H" en ordonnée. À n'importe quelle heure, la différence entre les droites "max" et "min" correspond au volume minimum requis du bassin qui permettra d'égaliser le débit, comme on le constate en se reportant à la colonne I du tableau 7-2.

**Tableau 7-2: Détermination du volume du bassin d'égalisation
par micro-informatique**

HEURE	DÉBIT HORAIRE (m ³ /h)	VOLUME CUMULATIF (m ³)	TEMP ÉCOULÉ (h)	MOYENNE	DIFFÉRENCE	MAXIMUM	MINIMUM	VOLUME DU BASSIN (m ³)
A	B	C	D	E	F	G	H	I
07:00	-	0	0	0,00	0,00	298,50	-148,30	446,80
08:00	11,2	11,2	1	75,00	-63,80	373,50	-73,30	446,80
09:00	15,3	26,5	2	150,00	-123,50	448,50	1,70	446,80
10:00	50,2	76,7	3	225,00	-148,30	523,50	76,70	446,80
11:00	80,2	156,9	4	300,00	-143,10	598,50	151,70	446,80
12:00	115,2	272,1	5	375,00	-102,90	673,50	226,70	446,80
13:00	130,2	402,3	6	450,00	-47,70	748,50	301,70	446,80
14:00	125,2	527,5	7	525,00	2,50	823,50	376,70	446,80
15:00	80,9	608,4	8	600,00	8,40	898,50	526,70	446,80
16:00	72,4	680,8	9	675,00	5,80	973,50	601,70	446,80
17:00	69,8	750,6	10	750,00	0,60	1048,50	601,70	446,80
18:00	75,8	826,4	11	825,00	1,40	1123,50	676,70	446,80
19:00	95,8	922,2	12	900,00	22,20	1198,50	751,70	446,80
20:00	115,4	1037,6	13	975,00	62,60	1273,50	826,70	446,80
21:00	138,8	1176,4	14	1050,00	126,40	1348,50	901,70	446,80
22:00	155,3	1331,7	15	1125,00	206,70	1423,50	976,70	446,80
23:00	135,3	1467	16	1200,00	267,00	1498,50	1051,70	446,80
00:00	106,5	1573,5	17	1275,00	298,50	1573,50	1126,70	446,80
01:00	70,5	1644	18	1350,00	294,00	1648,50	1201,70	446,80
02:00	52,3	1696,3	19	1425,00	271,30	1723,50	1276,70	446,80
03:00	36,3	1732,6	20	1500,00	232,60	1798,50	1351,70	446,80
04:00	33,3	1765,9	21	1575,00	190,90	1873,50	1426,70	446,80
05:00	11,2	1777,1	22	1650,00	127,10	1948,50	1501,70	446,80
06:00	10,5	1787,6	23	1725,00	62,60	2023,50	1576,70	446,80
07:00	12,4	1800	24	1800,00	0,00	2098,50	1651,70	446,80

-148,30	= minimum
298,50	= maximum



Tableau 7-3: Formules utilisées pour compléter le tableau 7-2

MESURE DU DÉBIT (7h00 à 7h00)								
HEURE	DÉBIT HORAIRE (m ³ /h)	VOLUME CUMULATIF (m ³)	TEMPS ÉCOULÉ (h)	MOYENNE	DIFFÉRENCE	MAXIMUM ⁽³⁾	MINIMUM ⁽⁴⁾	BASSIN ⁽⁵⁾ (m ³)
A	B	C	D	E	F	G	H	I
07:00	-	0	0	=C\$29/24*D5	=C5-E5	=E5+298,5	=E5+148,3	=G5=H5
08:00	11,2	11,2	1	=C\$29/24*D6	=C6-E6	=E6+298,5	=E6+148,3	=G6=H6
09:00	15,3	26,5	2	=C\$29/24*D7	=C7-E7	=E7+298,5	=E7+148,3	=G7=H7
10:00	50,2	76,7	3	=C\$29/24*D8	=C8-E8	=E8+298,5	=E8+148,3	=G8=H8
11:00	80,2	156,9	4	=C\$29/24*D9	=C9-E9	=E9+298,5	=E9+148,3	=G9=H9
12:00	115,2	272,1	5	=C\$29/24*D10	=C10-E10	=E10+298,5	=E10+148,3	=G10=H10
13:00	130,2	402,3	6	=C\$29/24*D11	=C11-E11	=E11+298,5	=E11+148,3	=G11=H11
14:00	125,2	527,5	7	=C\$29/24*D12	=C12-E12	=E12+298,5	=E12+148,3	=G12=H12
15:00	80,9	608,4	8	=C\$29/24*D13	=C13-E13	=E13+298,5	=E13+148,3	=G13=H13
16:00	72,4	680,8	9	=C\$29/24*D14	=C14-E14	=E14+298,5	=E14+148,3	=G14=H14
17:00	69,8	750,6	10	=C\$29/24*D15	=C15-E15	=E15+298,5	=E15+148,3	=G15=H15
18:00	75,8	826,4	11	=C\$29/24*D16	=C16-E16	=E16+298,5	=E16+148,3	=G16=H16
19:00	95,8	922,2	12	=C\$29/24*D17	=C17-E17	=E17+298,5	=E17+148,3	=G17=H17
20:00	115,4	1037,6	13	=C\$29/24*D18	=C18-E18	=E18+298,5	=E18+148,3	=G18=H18
21:00	138,8	1176,4	14	=C\$29/24*D19	=C19-E19	=E19+298,5	=E19+148,3	=G19=H19
22:00	155,3	1331,7	15	=C\$29/24*D20	=C20-E20	=E20+298,5	=E20+148,3	=G20=H20
23:00	136,3	1487	16	=C\$29/24*D21	=C21-E21	=E21+298,5	=E21+148,3	=G21=H21
00:00	106,5	1573,5	17	=C\$29/24*D22	=C22-E22	=E22+298,5	=E22+148,3	=G22=H22
01:00	70,5	1644	18	=C\$29/24*D23	=C23-E23	=E23+298,5	=E23+148,3	=G23=H23
02:00	52,3	1696,3	19	=C\$29/24*D24	=C24-E24	=E24+298,5	=E24+148,3	=G24=H24
03:00	38,3	1732,6	20	=C\$29/24*D25	=C25-E25	=E25+298,5	=E25+148,3	=G25=H25
04:00	33,3	1785,9	21	=C\$29/24*D26	=C26-E26	=E26+298,5	=E26+148,3	=G26=H26
05:00	11,2	1777,1	22	=C\$29/24*D27	=C27-E27	=E27+298,5	=E27+148,3	=G27=H27
06:00	10,5	1787,6	23	=C\$29/24*D28	=C28-E28	=E28+298,5	=E28+148,3	=G28=H28
07:00	12,4	1800 ⁽¹⁾	24	=C\$29/24*D29	=C29-E29	=E29+298,5	=E29+148,3	=G29=H29
(1)	1800 = volume total							
(2)	24 = 1 journée							
(3)	298,5 = maximum de la différence							
(4)	148,3 = minimum de la différence							
(5)	les chiffres devraient être égaux							

7.2.3 Régularisation de la charge organique

Certains systèmes de traitement des eaux usées (ex.: biodisques, filtres biologiques) supportent mal les pointes de charge élevées dans l'affluent. Ces fluctuations peuvent nuire à l'activité des microorganismes responsables de l'épuration et même entraîner une insuffisance d'oxygène dans le réacteur.

Plusieurs activités industrielles génèrent des charges organiques qui fluctuent au cours d'une même journée, entre autres: la production en cuvée de divers produits issus de la transformation de produits chimiques organiques (résines, polymères, colles, etc.), la production et la transformation des denrées alimentaires (salaisons, laiteries, fromageries, conserveries, etc.), les usines de pâtes et papiers, etc.

Dans plusieurs industries agro-alimentaires, la journée est divisée ainsi: 8 heures de production, 8 heures de lavage et de désinfection suivies de 8 heures sans activité; la charge organique peut être, par exemple, dans les proportions 10, 3 et 0. Ailleurs, ce sont 16 heures de production et 8 heures de lavage, chaque période avec des charges organiques très différentes. Il peut donc arriver qu'une régularisation de la charge organique soit demandée.

Lorsqu'on régularise le débit, on tamponne également la charge organique. L'égalisation parfaite de la charge s'avère très difficile. En effet, il faudrait connaître le débit et la concentration de l'effluent en tout temps. Si le premier paramètre est facilement mesurable, le second ne l'est pas, du moins instantanément.

On peut craindre qu'une telle égalisation nuise à celle du débit. Pour égaliser charge et débit, il faut accumuler les effluents pendant toute la période considérée, homogénéiser le tout, puis évacuer cette quantité d'eau pendant une durée généralement équivalente à celle de l'égalisation. L'encombrement des installations et la nécessité d'aérer les eaux doivent être étudiées. De plus, les coûts



reliés à ces ouvrages sont plus élevés et peuvent approcher ceux d'un traitement autonome complet. La pertinence d'une telle égalisation doit donc être évaluée en tenant compte de toutes les contraintes qu'elle engendre.

7.2.4 Chambre de prise d'échantillon et de mesure du débit

Le mesure de débit en écoulement libre (c'est-à-dire dans une conduite non-pressurisée, dans un canal à l'air libre) exige deux étapes: l'uniformisation et le ralentissement du débit puis la mesure de la hauteur d'écoulement. La première étape se fait à l'aide d'un élément de mesure primaire et vise à ramener le débit à une forme mesurable avec une certaine précision⁽⁶⁾. Les éléments de mesure primaire les plus populaires sont les canaux "PARSHALL" et "PALMER-BOWLUS", illustrés aux figures 7-3 et 7-4 respectivement. Les déversoirs triangulaires, les déversoirs rectangulaires, etc. sont rarement utilisés dans les industries.

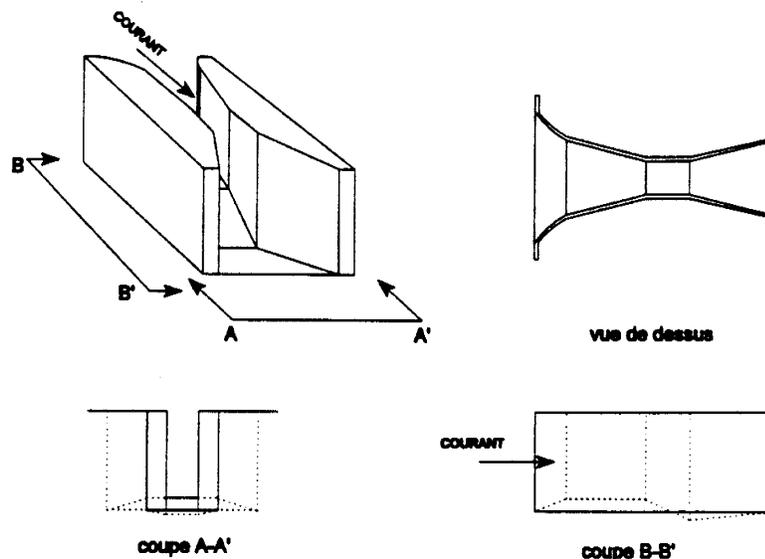


Figure 7-3: Canal Parshall

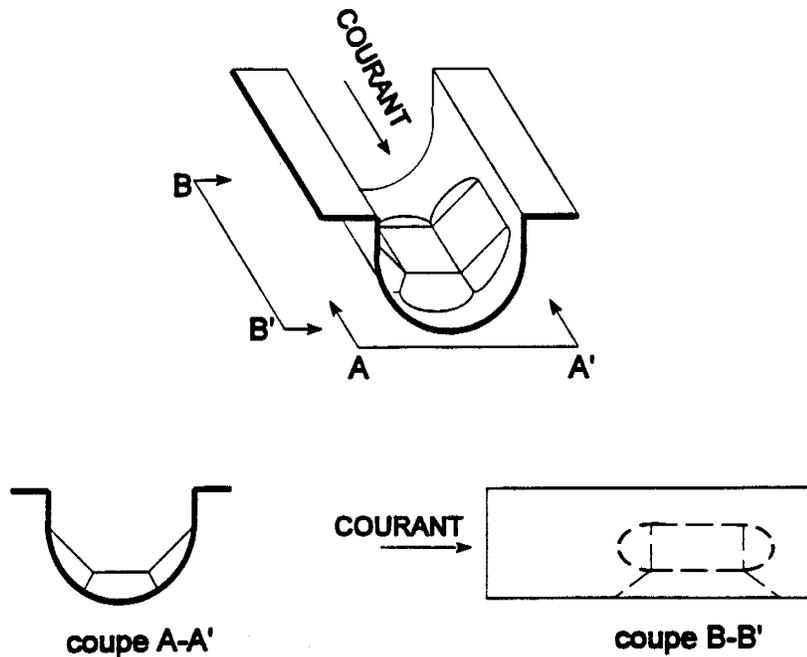


Figure 7-4: Canal Palmer-Bowlus

La mesure de la hauteur d'écoulement est faite par des appareils de mesure appropriés: le "bulle-à-bulle", les sondes de pression (aussi appelées "souris"), les sondes à ultra-sons, les sondes à flotteurs, etc. On rappelle que la présence d'écume ou de mousse nuit au bon fonctionnement d'une sonde à ultra-sons. Pour vérifier la précision des appareils en tout temps, une pratique simple consiste à installer une règle graduée au point de mesure. Les valeurs peuvent ainsi être comparées régulièrement, sans difficulté à celles lues par l'appareil.

Que ce soit pour vérifier la conformité des rejets industriels au règlement municipal en vigueur ou au contenu des ententes avec le ministère de l'Environnement et de la Faune ou pour facturer les entreprises utilisant les services des stations d'épuration municipales, les entreprises doivent mesurer le débit de leur effluent de même que leur charge. Les paramètres à contrôler varient d'une entreprise à l'autre. Les appareils utilisés doivent être choisis en fonction de l'information recherchée et des situations auxquelles les entreprises seront confrontées (caractéristiques de l'effluent, débit, matières polluantes, contraintes physiques, situations particulières, coûts, etc.). On notera, par exemple, qu'une concentration élevée en matières en suspension dans l'effluent risque d'encrasser les appareils prématurément en provoquant une accumulation de résidus en amont de l'élément de mesure primaire lorsque celui-ci cause un ralentissement et une rétention de l'eau (ex: déversoirs triangulaires, rectangulaires, etc.). La décantation des matières en suspension peut avoir pour effet de perturber l'écoulement et de fausser les lectures. Par ailleurs, la température de nombreux effluents industriels favorise la formation de vapeurs qui se condensent notamment sur les équipements électriques installés dans la chambre de prise d'échantillon et de mesure de débit. L'humidité et la corrosion sont susceptibles de nuire au fonctionnement des équipements électriques mal protégés.

7.3 TRAITEMENTS PRÉLIMINAIRES

7.3.1 Introduction

Les traitements préliminaires sont des opérations de séparation essentiellement physique qui visent à protéger les appareils subséquents, à éviter l'engorgement des conduites, à diminuer la charge, à rendre un effluent conforme aux normes de rejet, à préparer l'effluent pour un traitement ultérieur, etc. Ces traitements visent à débarrasser les effluents industriels des fibres, des solides abrasifs, des huiles,

des graisses et autres substances susceptibles de nuire aux ouvrages d'assainissement.

Dans ce qui suit on décrit les traitements préliminaires installés fréquemment dans les usines:

- dégrillage;
- dessablage;
- déshuilage et dégraissage;
- tamisage;
- hydrocyclone.

7.3.2 Dégrillage

D'une façon générale, le dégrillage d'un effluent industriel est requis lorsque ce dernier véhicule des matières solides relativement grossières, quelques millimètres et plus, en quantité suffisante pour nuire au bon fonctionnement de différentes pièces d'équipement ou pour les endommager: obturation des drains de plancher et des égouts, usure prématurée des pompes, etc. Il est parfois utilisé pour alléger la charge polluante et ainsi réduire la dimension des équipements d'épuration.

Le dégrillage des eaux usées est indispensable dans de nombreuses industries agro-alimentaires; il peut être effectué d'abord au niveau des renvois de plancher qui sont équipés de grilles et de paniers ajourés (abattoirs, fromageries, salaisons, conserveries, etc.). Ensuite, l'effluent final peut être, si nécessaire, dirigé vers une grille disposée en travers d'un canal, l'objectif étant toujours de retenir des résidus grossiers. Si un dégrillage fin s'avère utile, on installe un tamis. Le tamisage est décrit au paragraphe 7.3.5.



Les barreaux des grilles sont relativement espacés: 5 à 30 mm. Bien entendu, l'espacement est déterminé par la taille des matières à retenir. La vitesse de passage de l'eau entre les barreaux doit être de 0,6 à 1,0 m/s au débit moyen, 1,2 à 1,4 m/s au débit maximal. On doit éviter de provoquer une perte de charge importante et en même temps faire en sorte que les matières soient appliquées sur les barreaux. Les résidus retenus par les grilles sont ôtés manuellement ou mécaniquement. Le Mémento technique de l'eau⁽⁷⁾ décrit bien les conditions d'utilisation et les différents types de grilles.

7.3.3 Dessablage

Le dessablage est une décantation gravitaire partielle qui vise à séparer les solides inertes plus denses que l'eau tels que le gravier, le sable et les particules minérales plus ou moins fines, afin de protéger les équipements subséquents, notamment les pompes, et de prévenir un engorgement prématuré du réseau d'égouts. Le dessablage peut consister en une simple décantation physique. Cependant, on procède généralement à un dessablage aéré pour maximiser l'extraction des matières minérales et minimiser la rétention des matières organiques, surtout dans les rejets des industries agro-alimentaires. Le dessablage vise l'interception des particules dont la granulométrie est égale ou supérieure à 200 µm.

Plusieurs entreprises doivent dessabler leur effluent, mentionnons les usines de transformation des métaux, de production de béton, les industries métallurgiques et certaines usines agro-alimentaires (abattoirs, usines de transformation des légumes, laiteries, etc.).

Pour les dessableurs longitudinaux, la section transversale est fonction de la vitesse horizontale d'écoulement désirée. Pour minimiser le dépôt des matières organiques, il faut maintenir une vitesse d'écoulement de l'ordre de 0,3 m/s au niveau du radier. La surface de ces dessableurs se calcule en divisant le débit

maximal par la vitesse de sédimentation des particules les plus petites à retenir, corrigée en fonction de la vitesse horizontale.

Il est essentiel, comme pour les décanteurs, de vidanger régulièrement les dessableurs puisqu'une accumulation trop importante de solides diminue leur efficacité. La fréquence de la vidange dépend de la quantité de matières denses dans l'effluent et de la capacité d'accumulation à la base du dessableur.

7.3.4 Déshuilage et dégraissage

7.3.4.1 Généralités

On a mentionné au chapitre 5 que la plupart des municipalités ont adopté un règlement relatif aux rejets dans les réseaux d'égout. Les normes suivantes figurent généralement dans le règlement municipal:

- rejet dans un réseau d'égouts unitaire ou domestique;
 - huiles, graisses et goudrons d'origine minérale: moins de 30 mg/l,
 - matières grasses et huiles d'origine animale ou végétale: moins de 150 mg/l
 - huiles et graisses dans les effluents d'ateliers d'équarrissage ou de fondoirs: moins de 100 mg/l.

- rejet dans un réseau d'égouts pluvial:
 - huiles et graisses d'origine minérale, animale ou végétale: moins de 15 mg/l.

L'interception des matières grasses est nécessaire à la bonne marche des appareils comme les pompes et de nombreux procédés d'épuration, de même qu'à leur longévité. Les matières grasses causent aussi un engorgement des conduites



pouvant aller d'une simple accumulation sur les parois perturbant l'écoulement jusqu'à une restriction importante réduisant considérablement le débit.

L'enlèvement des matières grasses peut être réalisé par un simple intercepteur statique lorsqu'elles ne sont pas hydrolysées et lorsqu'elles sont assez grosses pour flotter en un laps de temps raisonnable, c'est-à-dire quelques heures. Les matières se séparent du liquide grâce à leur faible densité relative, à l'inverse du cas précédent où elles se déposent. Pour les particules trop petites, on peut recourir à la flottation à l'air dissous, cette technique est décrite au paragraphe 7.4.5, aux aides-floculants (sels métalliques: alun, chlorure de fer (III), de même qu'aux aides-coagulants (les polymères naturels ou synthétiques). Il est important de noter que le bon fonctionnement de ces procédés de traitement est directement lié à l'entretien des équipements. Dans le cas des intercepteurs d'huiles et de graisses, l'entretien est essentiel.

On peut mentionner, parmi les divers appareils utilisés, les intercepteurs API dans les raffineries de pétrole, les intercepteurs d'huiles dans les ateliers de réparation mécanique, les intercepteurs à graisses, statiques ou mécanisés, installés dans de nombreuses entreprises telles que les abattoirs, les salaisons, les ateliers d'équarrissage, les crémeries, etc. Ils constituent un prétraitement sommaire et on constate fréquemment que ces équipements ne permettent pas d'obtenir un effluent conforme aux normes de rejet au réseau d'égout municipal domestique.

Dans ce guide général, on décrit uniquement deux types d'intercepteurs:

- les intercepteurs d'huile;
- l'intercepteur de graisse.

Les autres procédés d'extraction des huiles et des graisses seront présentés dans les guides techniques sectoriels.

7.3.4.2 Les intercepteurs d'huile

“L’American Petroleum Institute” (API)⁽⁶⁾ a développé des critères de conception pour les intercepteurs statiques d’huiles, parfois appelés déshuileurs, et qui ont été installés dans les raffineries de pétrole depuis plusieurs décennies. Un intercepteur d’huile vise à accumuler les substances huileuses à la surface de l’eau. On peut cependant s’attendre à une certaine déposition de résidus au fond d’un intercepteur d’huile car un effluent est rarement contaminé seulement par des huiles ou des graisses.

Les principes énoncés par l’API reposent sur les critères suivants:

- l’huile est en gouttelettes d’au moins 150 microns de diamètre. L’étude de plusieurs intercepteurs existants et des études de laboratoire ont démontré que ce diamètre, quoiqu’arbitraire, établit une limite inférieure d’efficacité;
- l’huile n’est pas émulsifiée ou en solution. On rappelle que le bris d’une émulsion ou la précipitation d’une huile soluble requiert un prétraitement chimique.

La vitesse de flottation des gouttelettes d’huile peut être calculée à partir de la loi de Stokes pour des particules sphériques:

$$V_h = \frac{g}{18 \mu} (\rho_{eau} - \rho_{huile}) d^2$$

- où: V_h = vitesse ascensionnelle de la gouttelette d’huile (m/s);
 μ = viscosité dynamique de l’eau (Pa.s);
 ρ = densité (kg/m³);
 d = diamètre de la gouttelette (m);
 g = accélération due à l’attraction gravitationnelle = 9,8 m/s².



Pour une gouttelette de 150 microns ($1,5 \times 10^{-4}$ m), cette équation devient:

$$V_h = 1,225 \times 10^{-8} \left(\frac{\rho_{\text{eau}} - \rho_{\text{huile}}}{\mu} \right)$$

Ainsi, lorsque la vitesse des gouttelettes d'huile est connue, on peut calculer la superficie minimale de l'intercepteur en utilisant la formule suivante:

$$A_H = F \left(\frac{Q}{V_h} \right)$$

où: A_H = superficie de l'intercepteur (m^2);

F = facteur d'imperfection de l'intercepteur qui tient compte des zones de turbulence, des courts-circuits, etc.

Le facteur de correction F est issu de la multiplication du facteur de correction F_c qui corrige pour le court-circuitage, (on propose 1,2 comme valeur de F_c), par F_t , le facteur de correction pour la turbulence. Le tableau suivant présente les valeurs suggérées de F_t en fonction du rapport V_e / V_h dans lequel V_e symbolise la vitesse d'écoulement de l'effluent.

Tableau 7-4: Valeurs de F_t selon le rapport V_e / V_h ⁽⁸⁾

V_e / V_h	F_t
20	1,45
15	1,37
10	1,25
6	1,14
3	1,05

On calcule la section d'écoulement (A_e) de l'intercepteur d'huile selon la formule suivante:

$$A_e = \left(\frac{Q}{V_e} \right)$$

La vitesse d'écoulement de l'effluent doit être inférieure à $15 V_h$ et ne pas dépasser 1 m/min.

De plus, le rapport profondeur/largeur (p/l) doit être d'au moins 0,3 avec une profondeur minimale de 1 mètre, particulièrement lorsqu'on utilise des racleurs mécaniques.

La longueur de l'intercepteur d'huile peut être calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$L = F \left(\frac{V_e}{V_h} \right) P$$

- où:
- L = longueur de l'intercepteur (m);
 - F = facteur de correction;
 - V_e = vitesse d'écoulement de l'effluent (m/s);
 - V_h = vitesse ascensionnelle des gouttelettes d'huile (m/s);
 - P = profondeur de l'intercepteur (m).

On recommande généralement d'installer deux intercepteurs lorsque c'est possible, pour permettre l'entretien et les réparations sans devoir arrêter le traitement. De préférence, les valeurs servant aux différents calculs doivent être mesurées; les valeurs moyennes de même que les valeurs issues de la littérature peuvent occasionner des erreurs non-négligeables.

On doit aussi intercepter les huiles mélangées aux eaux de procédé dans les garages, les stations-service, les friteries, les huileries, etc.

Le lecteur peut également consulter le document préparé par le Service de l'assainissement des eaux de la DPSI en octobre 95⁽⁹⁾.



7.3.4.3 L'intercepteur de graisse

Le fonctionnement d'un intercepteur de graisse est très semblable à celui décrit à la section précédente: ce n'est qu'un bassin de rétention permettant aux matières grasses de flotter. Les principes énoncés pour concevoir les intercepteurs d'huile s'appliquent également dans ce cas. L'Agence américaine de protection de l'environnement⁽¹⁰⁾, dans un document datant de 1980, précise qu'un temps de rétention inférieur à 20 minutes résulte généralement en une réduction des matières grasses de moins de 50%. La figure 7-5 montre la coupe longitudinale d'un intercepteur de graisse; le nombre de chicanes et de regards dépend des dimensions de l'intercepteur.

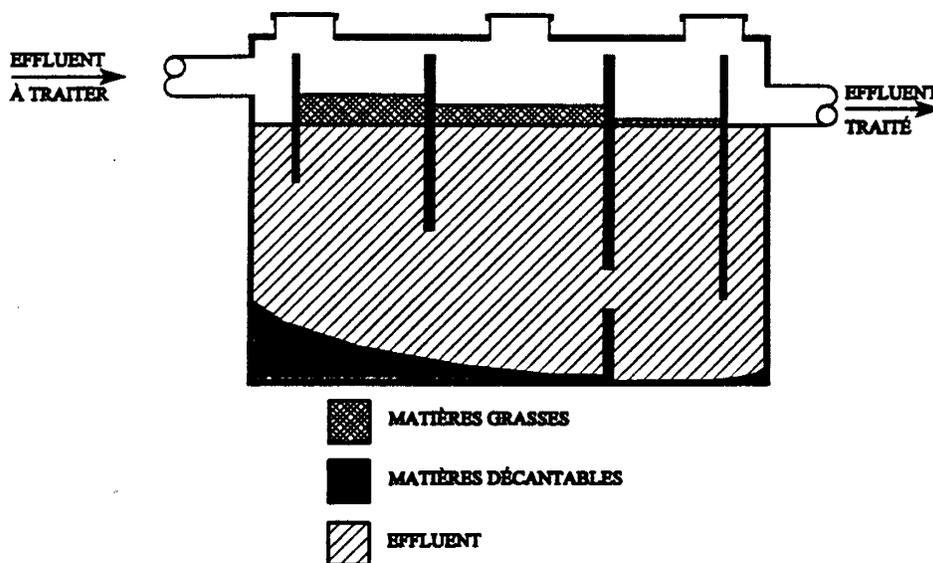


Figure 7-5: Intercepteur statique de graisses

L'institut allemand de normalisation (DIN)⁽¹¹⁾ a publié une norme sur la conception, les dimensions, les tests et les exigences de tels intercepteurs. Cette norme propose des formats nominaux associés à des dimensions minimales à respecter. Le format nominal est calculé à partir de la formule suivante:

$$FN = Q \times f_d \times f_t \times f_r \times f_m$$

- où: FN = format nominal;
- Q = débit de l'effluent à traiter (l/s);
- f_d = facteur de correction en fonction de la densité du corps gras.
 $f_d = 1$ si la densité est inférieure à 0,94 et $f_d = 1,5$ si la densité est supérieure à 0,94 (applicable à l'huile de ricin, à la lanoline, à la cire, à l'huile de résine, au gras de bovin, etc.);
- f_t = facteur de correction en fonction de la température, $f_t = 1$ si la température est inférieure à 50°C. Si la température excède 50°C, f_t peut varier de 1,5 à 2,0;
- f_r = facteur de correction en fonction de la présence de détergents;
 $f_r = 1,3$ si leur présence influence l'interception;
- f_m = facteur de correction en fonction de la présence d'une grande quantité de matières grasses à intercepter.

Le tableau 7-5 présente les principales caractéristiques des intercepteurs de graisse associées à chaque format nominal⁽¹¹⁾.

Ces valeurs doivent être utilisées avec une certaine prudence parce que leurs sources ne sont pas mentionnées; de plus, quelques situations particulières sont citées telles que les restaurants ou les cantines. Également, cette norme fait appel à d'autres normes DIN surtout pour les raccords, le dimensionnement des conduites, les types de matériaux à utiliser, etc. Finalement, ces valeurs se rapportent uniquement à l'interception des matières flottantes; les matières décantables sont soutirées préalablement dans une fosse de décantation aussi



appelée intercepteur de solides. Au Québec, il n'est pas rare d'utiliser un intercepteur de graisse pour retenir à la fois les unes et les autres.

Tableau 7-5: Superficie et volumes correspondant aux formats nominaux des intercepteurs de graisse

FORMAT NOMINAL	SUPERFICIE MINIMALE DE L'INTERCEPTEUR m ²	VOLUME MINIMUM TOTAL DE L'INTERCEPTEUR ¹ m ³	VOLUME OCCUPÉ PAR LES GRAISSES ² m ³
2	0,5	0,48	0,08
4	1,0	0,96	0,16
7	1,75	1,68	0,28
10	2,5	2,4	0,4
15	3,75	3,6	0,6
20	5,0	6,0	0,8
25	6,25	7,5	1,0
1	Incluant le volume prévu pour l'accumulation des graisses		
2	L'épaisseur maximale des graisses devrait être 160 mm.		

7.3.5 Tamisage

7.3.5.1 Généralités

Comme on l'a vu dans les paragraphes précédents, on installe un traitement préliminaire adapté aux caractéristiques de l'effluent. Cependant, dans certaines situations, le dégrillage sans être inutile, est loin d'être suffisant et il doit être complété par l'installation de tamis ou encore d'hydrocyclones pour éliminer une partie importante de la pollution due aux matières en suspension. On pense notamment à la rétention des particules solides en suspension dans les effluents des abattoirs, des salaisons, des conserveries, etc., à celle des fibres dans les effluents des usines textiles et des usines de pâtes et papiers. Pour sa part, le tamisage permet d'extraire des matières en suspension dont la densité est voisine de celle de l'eau, en autant que leur dimension le permet c'est-à-dire, lorsqu'elle est supérieure à 30 µm⁽⁷⁾.

Les tamis ont une fonction semblable à celle des dégrilleurs. Les différences se situent au niveau du mode de fonctionnement, et, surtout, au niveau des orifices: les dégrilleurs ont des orifices longitudinaux tandis que les tamis sont caractérisés, soit par des orifices circulaires ou carrés, soit par des petites fentes. La petitesse de ces orifices permet la séparation de solides plus petits, de l'ordre de quelques dixièmes de millimètre ou même quelques dizaines de micromètres. On installe donc selon les besoins spécifiques des microtamis ou divers types de tamis. Les paragraphes ci-après les décrivent.

Auparavant, dans le tableau 7-6, on trouve quelques informations chiffrées fournies par l'EPA⁽¹²⁾ et relatives aux principaux tamis utilisés pour clarifier les eaux usées.

Tableau 7-6: Données relatives aux caractéristiques des tamis et à leurs efficacités

	TAMIS TANGENTIEL	TAMIS ROTATIF	MICROTAMIS
Débits	35,8 à 143,2 m ³ /h/m ²	36,7 à 274 m ³ /h/m ²	12,2 à 24,5 m ³ /h/m ²
Ouvertures	0,25 à 1,5 mm	0,25 à 1,5 mm	15 à 60 µm
Solides extraits (% massique)	10 à 15%	16 à 25%	± 0,05% (250 à 700 mg/l)
Efficacités d'enlèvement des solides	5 à 25%	5 à 25%	50 à 80%

7.3.5.2 Le microtamis

Le microtamis est formé d'un cylindre perforé et l'écoulement de l'eau se fait de l'intérieur vers l'extérieur. Les orifices sont de petites dimensions, quelques dizaines de micromètres. Le microtamis est nettoyé par un jet d'eau sous pression de l'extérieur vers l'intérieur afin de déloger les particules, ces dernières tombent dans une goulotte. Les particules tamisées sont très petites et les boues résultantes renferment beaucoup d'eau.

Le microtamisage peut se définir par deux valeurs⁽³⁾:

- indice de filtrabilité;
- le facteur de grille.

a) Indice de filtrabilité (I):

Cette valeur est une expression de l'augmentation de la perte de charge en fonction du débit tamisé. Elle dépend donc de l'effluent et du tamis. D'une façon pratique, on l'évalue en tamisant une quantité d'effluent à travers une surface "A" de tamis en mesurant la perte de charge engendrée par le tamisage. On établit l'indice alors par la relation:

$$\frac{dH}{d\beta} = IH \quad \text{ou} \quad I = \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{H}{H_0} \right)$$

où:

- I = indice de filtrabilité;
- β = volume d'eau filtrée par unité de surface du microtamis (m³/m²);
- H = perte de charge engendrée par le microtamis (m);
- H₀ = perte de charge initiale (m).

b) Le facteur de grille (C_f):

Cette valeur est une fonction de la grille et n'est en fait que la perte de charge au travers du microtamis à 10°C, avec une vitesse d'approche de 1 m/s. On la mesure en tamisant une eau, en mesurant la perte de charge et en calculant:

$$C_f = \frac{AH_0}{Q}$$

où:

- C_f = facteur de grille;
- A = surface du microtamis (m²);
- Q = débit de l'effluent tamisé (m³/s)

Si la température de l'eau est différente de 10°C, on corrige selon la formule:

$$H_{10} = \frac{H_T (9T + 210)}{300}$$

où:

H_{10} = perte de charge pour une eau à 10°C (m);

H_T = perte de charge pour une eau à T°C (m);

T = température de l'eau (°C)

En fixant la perte de charge minimale admise, H, on peut calculer la durée du tamisage avant de devoir procéder au nettoyage:

$$t = \frac{A}{IQ} \ln \left(\frac{HA}{QC_f} \right)$$

Pour un microtamis rotatif où S, la vitesse de rotation du microtamis, est égale à $\frac{\Delta}{t}$, donc exprimée en m²/d, on voit que S correspond à la relation ci-dessous:

$$S = \frac{IQ}{\ln \left(\frac{HA}{QC_f} \right)}$$

7.3.5.3 Le tamis rotatif

Le tamis rotatif est composé d'une grille cylindrique mue par un moteur. Elle fait plusieurs rotations à la minute et cette vitesse varie selon le design de l'appareil et la nature du liquide à traiter. Deux types de tamis rotatifs sont disponibles: le tamis rotatif à alimentation extérieure et le tamis rotatif à alimentation intérieure.

Dans le cas du premier équipement, l'effluent se déverse sur le dessus du tamis et passe d'abord au travers, de l'extérieur vers l'intérieur, comme le montre la figure 7-6. Par conséquent, les irrégularités ou les problèmes d'opération (colmatage, lessivage des solides, débordement) sont visibles. Ensuite, l'effluent à traiter repasse au travers du tamis de l'intérieur vers l'extérieur, au point bas, de



sorte qu'à ce moment une faible remise en suspension des particules encore collées au tamis se produit. Ce type de tamis rotatif est fréquemment installé dans les abattoirs et les salaisons.

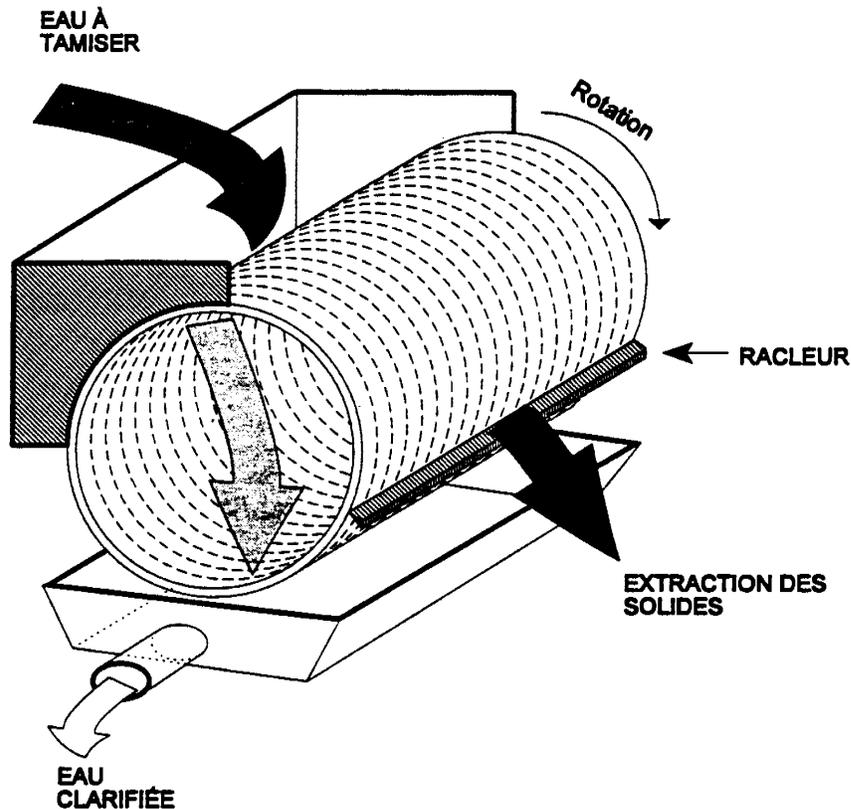


Figure 7-6: Tamis rotatif à alimentation extérieure

Dans un tamis rotatif à alimentation intérieure, l'effluent passe au travers du tamis de l'intérieur vers l'extérieur, tel qu'illustré à la figure 7-7. Une rampe est installée au-dessus du tamis et le giclement de l'eau de rinçage décolle les matières retenues sur la face interne. Une goulotte permet d'évacuer ces résidus. Les fournisseurs offrent également des tamis rotatifs à alimentation interne qui permettent d'évacuer les résidus arrêtés sans recourir à des jets d'eau giclant continuellement. Dans ces tamis, les eaux à traiter se déversent de part et d'autre d'une boîte de répartition du débit. Les matières en suspension s'accroissent contre la face interne du tamis puis déboulent. Des déflecteurs disposés en spirale les dirigent progressivement vers l'extrémité du tamis. Quelques usines textiles installent ce type de tamis rotatif.

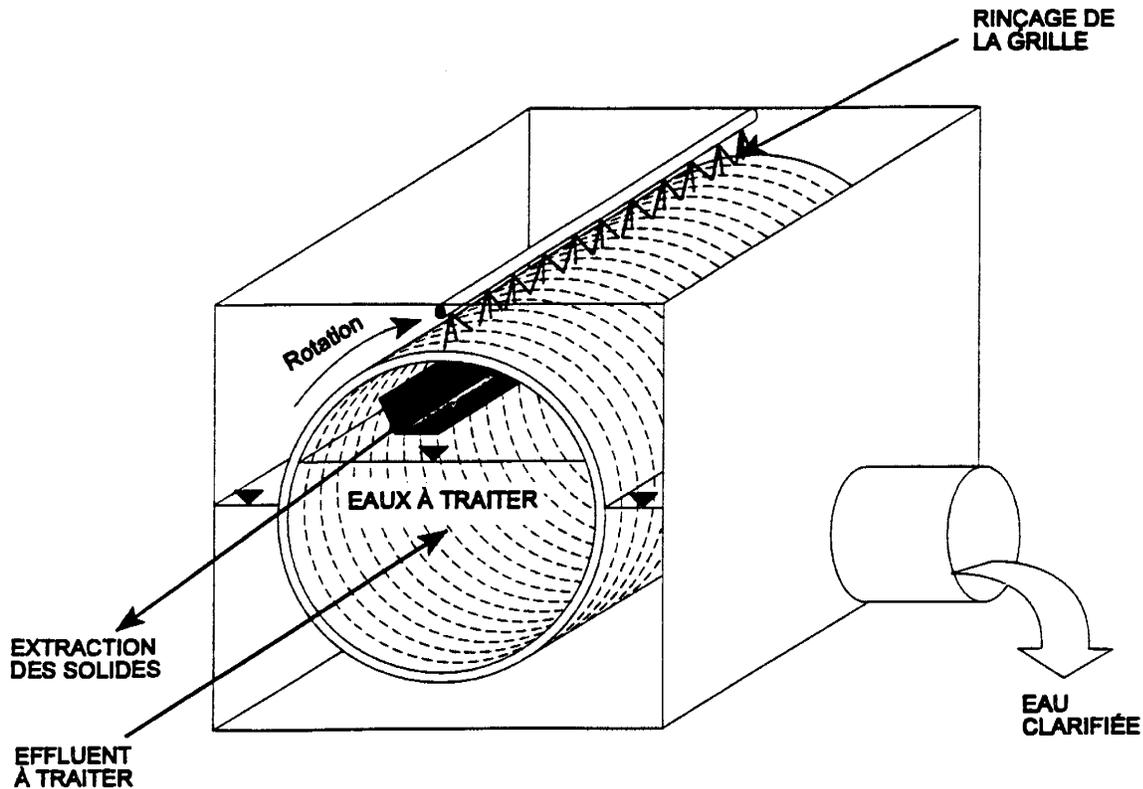


Figure 7-7: Tamis rotatif à alimentation intérieure

7.3.5.4 Le tamis tangentiel

Le tamis tangentiel, ou tamis incliné, est composé d'une juxtaposition de grilles inclinées dont les pentes sont de plus en plus faibles (fig. 7-8). L'eau épurée traverse la grille tandis que les solides sont retenus par celle-ci. Les particules extraites de l'eau déboulent d'une section à l'autre et s'agglomèrent avant de tomber dans une goulotte ou un conteneur. Les tamis tangentiels sont dits auto-nettoyants parce que les débris sont expulsés sous l'effet combiné de la gravité et de l'énergie cinétique de l'eau.

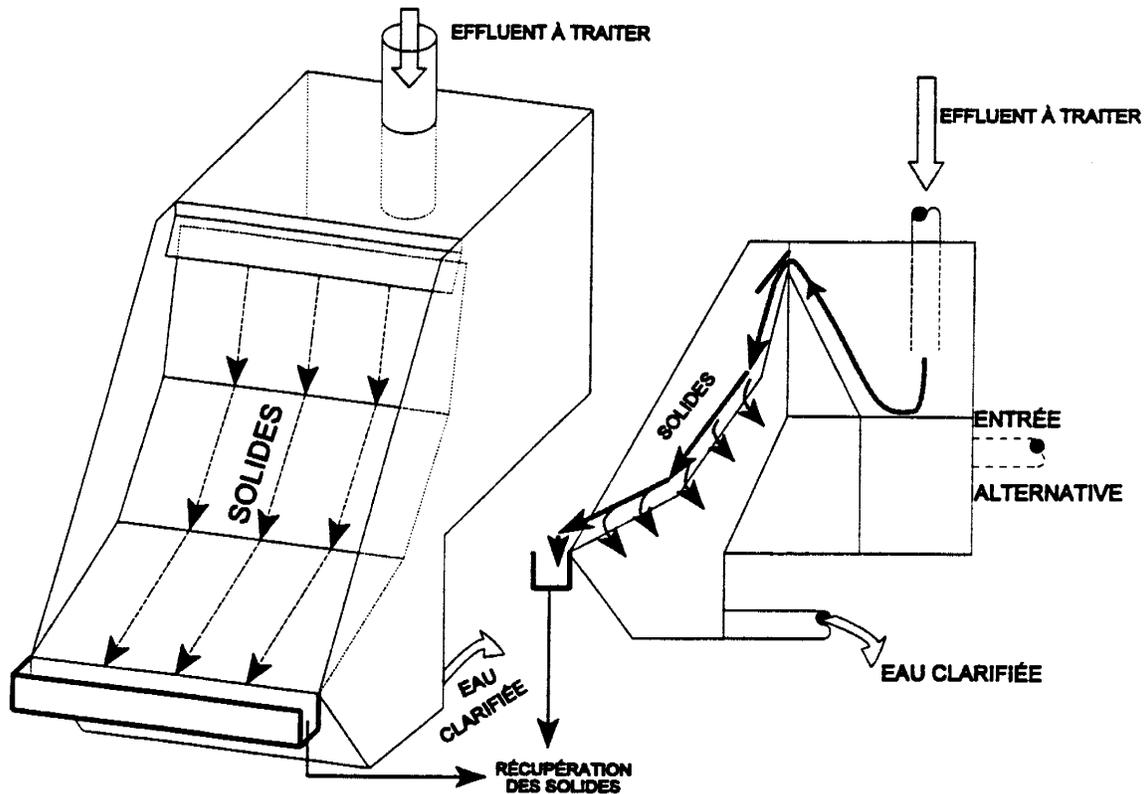


Figure 7-8: Tamis tangentiel

Selon les caractéristiques de l'effluent industriel, on choisit le modèle de grille approprié. Les ouvertures des tamis tangentiels installés pour traiter les effluents industriels varient généralement de 0,25 à 1,5 mm. La plupart des fournisseurs offrent des tamis dont les ouvertures vont de 0,038 à 2,50 mm⁽⁷⁾. Les guides en préparation préciseront les ouvertures les mieux adaptées pour chaque secteur industriel.

Ce type d'équipement est fréquemment utilisé pour tamiser les effluents des ateliers de transformation des pommes de terre, des usines textiles, des usines de pâtes et papiers, etc.

7.3.5.5 Le tamis vibrant

Le tamis vibrant est composé d'une simple grille ou toile de forme variée, généralement rectangulaire ou circulaire. Comme pour les autres tamis, l'effluent est épuré par enlèvement direct des particules en suspension. L'inclinaison et la vibration de la toile dirigent les solides retenus vers un conteneur.

Quelques entreprises qui procèdent à la transformation des légumes ainsi que certaines usines textiles ont recours à des tamis vibrant pour ôter les matières en suspension mélangées à l'eau.

7.3.6 Hydrocyclone

Lorsqu'on doit retirer d'un effluent industriel des solides qui sont trop fins pour décanter rapidement et lorsque l'emploi d'aides-floculants ou adjuvants de floculation est indésirable, les hydrocyclones peuvent constituer une option intéressante. Cet équipement est utile, pour enlever une partie appréciable de l'amidon dans l'effluent d'une entreprise de transformation des pommes de terre. Ceci d'autant plus que son principe de fonctionnement est simple puisque la séparation de substances de densités différentes se fait au moyen de la force centrifuge qui est produite par le mouvement tourbillonnaire imprimé à l'eau.

Étant donné que la séparation solide-liquide est plus efficace lorsque la force centrifuge du mouvement est importante, l'effluent à clarifier est donc pompé et poussé énergiquement à l'entrée de l'appareil. Les eaux à épurer entrent tangentiellement dans la section cylindrique (voir figure 7-9) et de ce fait, un mouvement de rotation est alors imprimé au fluide. La force centrifuge de ce mouvement augmente considérablement le pouvoir de séparation des solides du liquide, cette force peut être beaucoup plus élevée que celle de la gravité⁽⁷⁾.



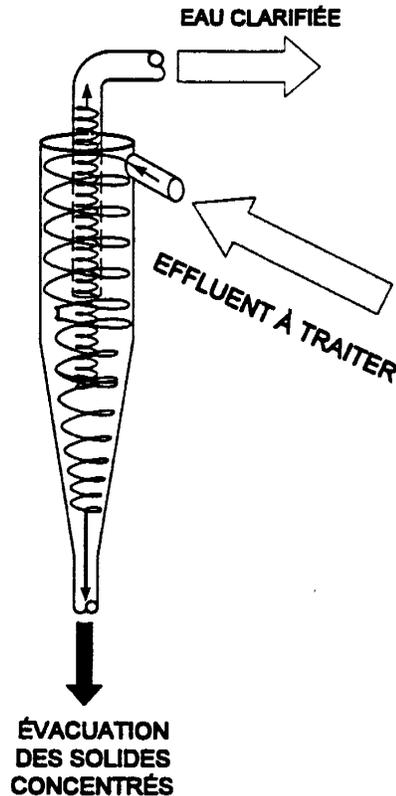


Figure 7-9: Hydrocyclone

L'eau épurée sort par le centre du tourbillon et est évacuée latéralement à la partie supérieure de l'appareil. Pendant ce temps, les solides les plus denses s'agglutinent vers la pointe de la section conique. Ces solides, entraînés par un faible courant d'eau, sont entreposés dans des bassins de stockage en prévision de leur recyclage ou de leur élimination.

Les hydrocyclones peuvent enlever plus de 90% des solides dont le diamètre est aussi petit que quelques dizaines de micromètres. Le fabricant de l'appareil est en mesure de fournir des courbes d'efficacité. On peut agencer les appareils en parallèle ou en série afin d'augmenter leur capacité ou leur efficacité.

7.4 TRAITEMENTS CHIMIQUES ET PHYSIQUES

7.4.1 Introduction

Afin de ne pas multiplier le nombre de sous-chapitres, il a été jugé bon de regrouper quelques traitements purement chimiques et certains traitements essentiellement physiques, ceci d'autant plus que plusieurs d'entre eux sont interdépendants.

On explique d'abord le conditionnement de certains effluents dont le but est de modifier quelques substances chimiques spécifiques: les cyanures, les sulfures et le chrome hexavalent, puis le traitement physico-chimique proprement dit: coagulation, précipitation, floculation, décantation et flottation, ensuite les techniques de filtration: filtration sur charbon activé et sur membranes sélectives, enfin les résines échangeuses d'ions.

La déphosphatation et la réduction de la charge organique sont incluses dans cette section puisqu'à cet effet, on a souvent recours à un traitement physico-chimique.

7.4.2 Conditionnement de certains effluents

Avant d'ajuster le pH d'un effluent contenant des cyanures, il faut procéder à leur oxydation (voir le paragraphe 7.4.2.1). Lorsqu'un effluent contient des sulfures, il est parfois indispensable de les oxyder pour respecter l'une ou l'autre norme de rejet dans les égouts municipaux; les procédés sont décrits dans le paragraphe 7.4.2.2. Les effluents qui contiennent du chrome hexavalent doivent d'abord être traités pour le rendre trivalent (voir le paragraphe 7.4.2.3); ensuite on peut procéder à la précipitation du chrome et des autres métaux toxiques.



7.4.2.1 Oxydation des cyanures

Le paragraphe 4.2.8.11 du chapitre 4 explique la présence de cyanures dans les eaux usées de certains procédés industriels. La nécessité de respecter les normes de rejet (CN_t : 2 mg/l dans l'égout domestique municipal, CN_t : 0,1 mg/l dans l'égout pluvial) oblige les entreprises à prétraiter les effluents qui dépassent ces normes.

Les cyanures doivent être transformés en cyanates (CNO^-) ou en azote (N_2) pour que l'effluent industriel ne soit pas toxique. On a recours à une oxydation chimique pour réaliser chacune de ces transformations. Elles peuvent être effectuées en utilisant du chlore (Cl_2), de l'hypochlorite de sodium ($NaOCl$) ou de l'hypochlorite de calcium ($Ca(OCl)_2$).

a) Oxydation par le chlore^(7,13,14)

i. Formation des cyanates:

L'équation de la réaction s'écrit ainsi:



Cette réaction est instantanée ou presque lorsque le pH est supérieur à 12. Il faut s'assurer d'avoir un excès de NaOH pour maintenir le pH > 11 puisque la vitesse de réaction diminue rapidement lorsque le pH baisse au-dessous de 10,5. De plus, une réaction secondaire peut se produire et former du chlorure de cyanogène ($CNCl$) qui est aussi nocif que l'acide cyanhydrique (HCN):



Lorsque le pH est maintenu au-dessus de 10,5, le chlorure de cyanogène est rapidement hydrolysé en cyanate et un excès de chlore conduit à sa transformation en azote.

h) Constantes biocinétiques

La dégradation de la matière organique est directement reliée à la croissance de la biomasse, celle-ci peut être exprimée selon l'équation suivante⁽⁵¹⁾:

$$\frac{dX}{dt} = Y \frac{dS}{dt} - K_d X$$

- où:
- $\frac{dX}{dt}$ = vitesse de croissance de la biomasse, masse/volume-temps;
 - Y = taux d'utilisation du substrat pendant la croissance, g de biomasse formée/g de substrat consommé;
 - $\frac{dS}{dt}$ = vitesse de consommation du substrat, masse/volume-temps;
 - K_d = perte de masse par l'activité biologique, temps;
 - X = concentration de la biomasse (MLVSS en mg/l).

En 1970, Lawrence et McCarty ont démontré que la consommation du substrat en fonction de la concentration de la biomasse peut être décrite comme suit:

$$\frac{dS}{dt} = k_{\max} \frac{XS}{K_s + S}$$

- où:
- k_{\max} = taux d'utilisation maximum du substrat, temps⁻¹;
 - S = concentration du substrat, masse/volume;
 - K_s = concentration seuil de Monod qui correspond à la concentration du substrat telle que $(dS/dt)/X = \frac{1}{2} k_{\max}$, masse/volume.

L'examen de ces équations révèle que les constantes biocinétiques à déterminer pour évaluer ou concevoir un traitement biologique sont Y, K_d ,



K_{max} , et K_s . Les valeurs de ces dernières dépendent surtout du type d'eaux usées à épurer et de la flore qui se développe dans le réacteur biologique.

Il est très risqué de se fier aux valeurs fournies par des cas similaires ou trouvées dans la littérature. Des essais en laboratoire sont recommandés et, souvent, financièrement justifiés.

La cinétique de la dégradation de la matière organique peut également être décrite par la relation suivante:

$$Y = L(1 - e^{-kt})$$

où

- Y = DBO exercée, mg/l;
 L = DBO ultime, mg/l;
 k = constante de réaction, d⁻¹;
 t = temps écoulé, d.

La constante k est évaluée en laboratoire. Pour la corriger en fonction de la température, on utilise la relation van't Hoff-Arrhénius laquelle est valable entre 4 et 31°C:

$$k_T = k_{20}\theta^{(T-20)}$$

où

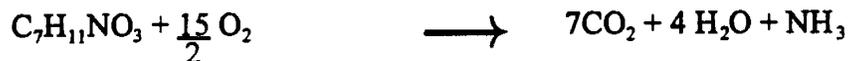
- k_T = constante de réaction à T° = T;
 k_{20} = constante à T° = 20°C;
 θ = 1,135 lorsque T° est compris entre 4 et 20°C;
 θ = 1,056 lorsque T° est compris entre 20 et 30 °C;
 T = température, °C.

i) Oxygène dissous

Dans la liqueur mixte des réacteurs biologiques aérobies, on doit conserver une concentration en oxygène dissous supérieure à 1 mg/l. La plupart des spécialistes estiment que 2 mg/l constituent un minimum à maintenir pendant la phase aérobie.

j) Besoins en oxygène

On a expliqué précédemment que 4,57 grammes d'oxygène sont nécessaires lors de la nitrification d'un gramme d'azote. D'une manière semblable, la quantité d'oxygène utilisée par les bactéries aérobies pour dégrader 1 g de matières organiques biodégradables est évaluée à 1,5 g d'après l'équation suivante:



Remarque: $\text{C}_7\text{H}_{11}\text{NO}_3$ symbolise la formule chimique théorique du substrat biodégradable.

On considère par conséquent que le système d'aération doit fournir:

- 1,5 kg d'oxygène/kg de DBO_5 dans l'affluent,
- 4,57 kg d'oxygène/kg de NtK dans l'affluent,

lorsque la température est clémente ou chaude.

Donc la demande totale quotidienne en oxygène pour l'épuration des eaux, symbolisée par l'acronyme anglais AOR ("Actual Oxygen Requirement"), est la somme de l'oxygène nécessaire à la dégradation des matières carbonées biodégradables et à la nitrification:



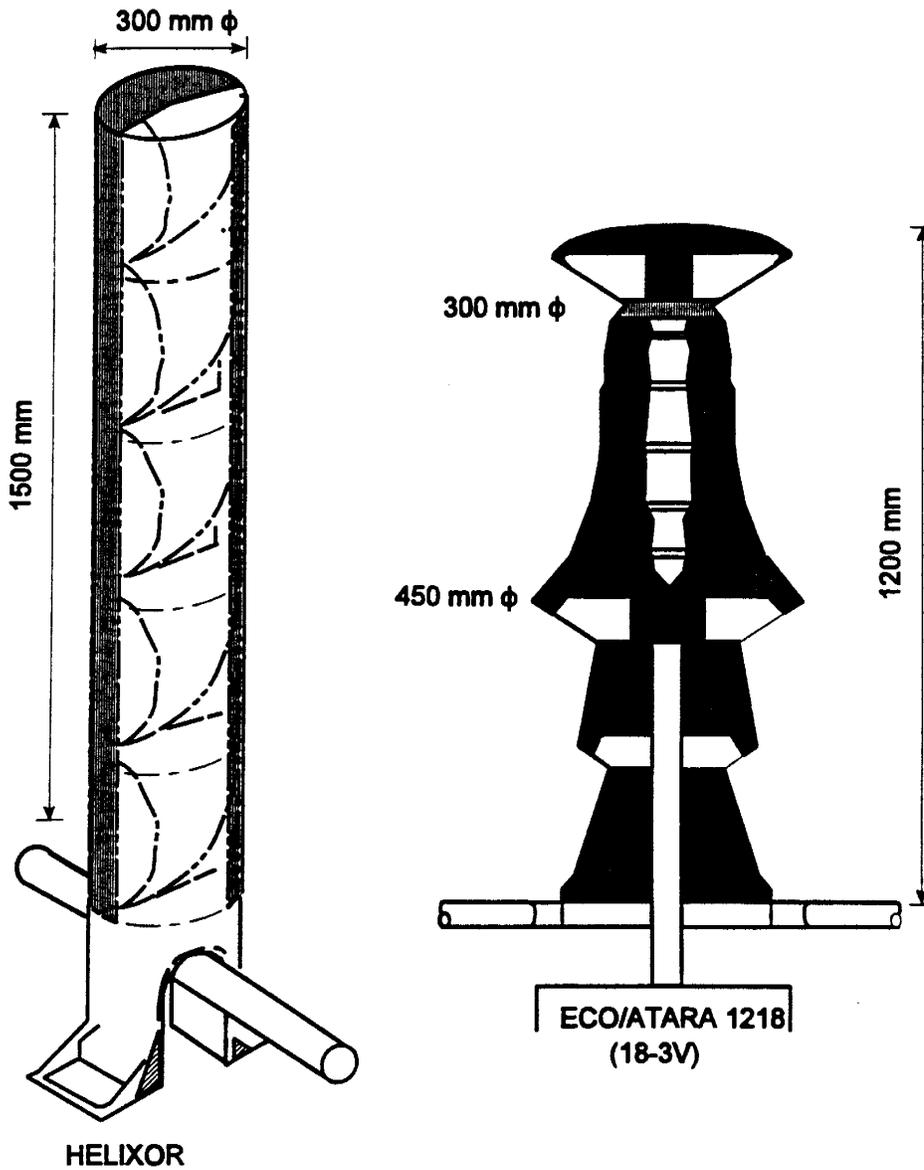


Figure 7-22: Diffuseurs à grosses bulles

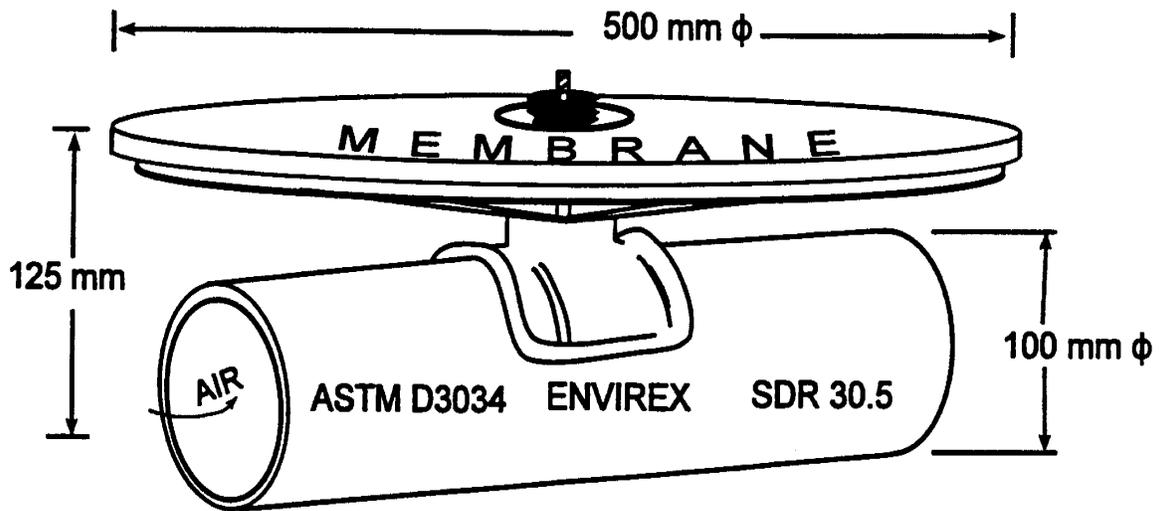


Figure 7-23: Diffuseur à fines bulles

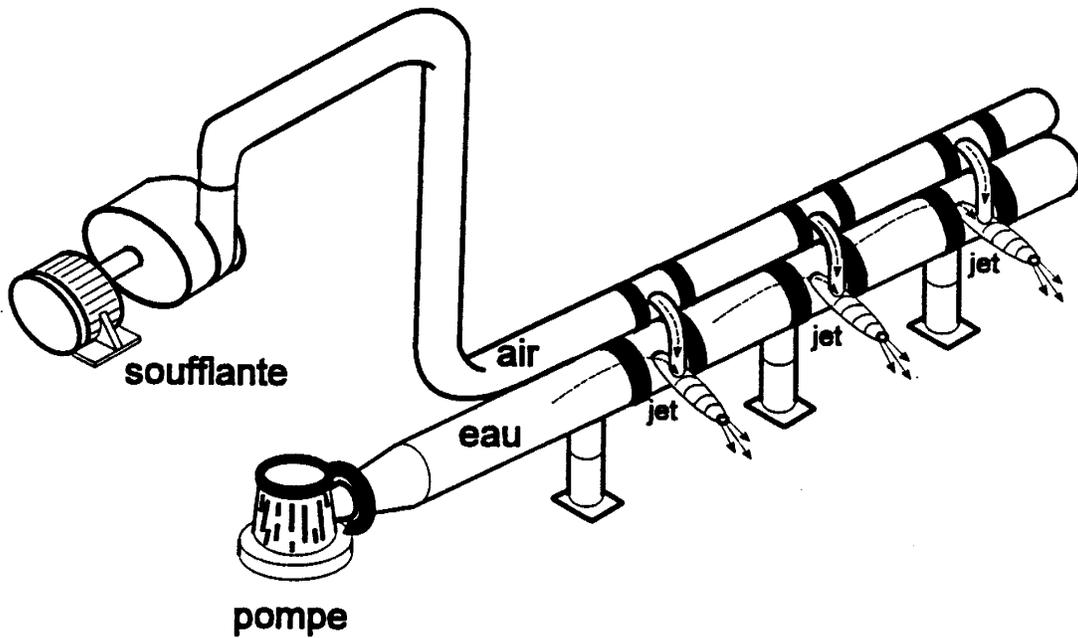


Figure 7-24: Système d'aération à jet

k) Autres critères considérés

La température de la liqueur mixte, la nature du système d'aération, la géométrie du réacteur biologique et les diverses substances présentes dans les eaux usées ont une influence sur le taux de transfert de l'oxygène selon la méthodologie et les normes prescrites par "American Society of Civil Engineers (ASCE)". Le lecteur peut trouver ces normes dans le document intitulé: "Aeration - A Wastewater Treatment Process"⁽⁵²⁾.

Les concepteurs des traitements biologiques aérobies doivent établir les besoins en oxygène dans les conditions standard. Le critère est symbolisé par l'acronyme anglais SOR ("Standard Oxygen Requirement"). Les conditions standard réfèrent à de l'eau claire, une température de 20°C, une concentration nulle en oxygène dissous et une pression atmosphérique de 101,3 kPa.

Le détail des équations utilisées dépasse le cadre de ce guide général. Cependant, le lecteur peut consulter l'article rédigé par G. Shell et K. Sanborn⁽⁵³⁾ ou le "Cahier technique de conception pour les réacteurs biologiques séquentiels" préparé par le SAE⁽⁵⁴⁾ pour approfondir la notion de SOR.

Finalement, on signale que le débit d'air total requis pour le fonctionnement du réacteur biologique aérobie est calculé ainsi:

$$\text{Débit d'air total: } \frac{\text{besoins en oxygène requis (SOR)}}{\text{efficacité de transfert de l'aérateur} \times \text{pourcentage massique d'oxygène dans l'air} \times \text{masse volumique de l'air}}$$



Dans cette formule, les unités et les constantes sont:

débit d'air total	:	m ³ /h
SOR (besoins en oxygène dans les conditions standard)	:	kg O ₂ /h
efficacité de transfert de l'aérateur	:	%
pourcentage massique d'oxygène dans l'air	:	23,2%
masse volumique de l'air	:	1,201 kg/m ³ d'air

7.5.2 Principaux procédés aérobies

Dans cette partie du guide, on décrit les principaux procédés aérobies utilisés pour épurer les eaux usées industrielles dans la province de Québec. Ils se répartissent en cinq catégories:

- l'irrigation;
- les boues activées;
- les étangs aérés;
- les réacteurs biologiques séquentiels;
- les traitements biologiques à cultures fixées.

7.5.2.1 Irrigation

L'irrigation est traditionnellement définie comme étant l'arrosage artificiel des terres pour les besoins agricoles. L'épandage par aspersion des fumiers liquides, ou lisiers, sur des champs constitue un procédé d'irrigation saisonnier bien connu dans plusieurs régions du Québec où l'élevage porcin est intensif.

Il est facile de comprendre que la nature et la composition de certaines eaux industrielles les rendent propices à l'épandage par aspersion. Cette section du guide explique sommairement ce procédé épurateur assez répandu aux États-Unis, mais peu fréquent au Québec⁽⁴⁸⁾. En fait, quelques industries, notamment les conserveries, l'ont utilisé et peu l'utilisent encore. Le principe de ce traitement est la digestion de la matière organique par les micro-organismes aérobies présents dans la partie supérieure du sol. Il faut éviter l'accumulation d'eau en surface par

un arrosage excessif au même endroit qui favorise l'apparition de conditions anaérobies.

La technique est simple: l'effluent contaminé par la matière organique subit un prétraitement, généralement un tamisage. Il est ensuite acheminé vers un bassin de rétention d'où il est pompé et une lance d'arrosage le disperse uniformément sur le champ. Afin d'éliminer l'eau et les contaminants le mieux possible, on sème sur ce champ des graines dont les plants ont une bonne capacité d'absorption. L'alpiste roseau est une plante qui est bien adaptée à l'accomplissement de cette tâche ⁽⁵⁵⁾; cependant, comme cette plante a une croissance relativement lente, on en sème une autre en même temps par exemple le blé, qui pousse plus rapidement afin d'absorber l'eau épandue sur le champ d'irrigation. Progressivement, l'alpiste roseau s'implante par la croissance de tiges souterraines, appelées rhizomes, qui favorisent l'apparition de bourgeons à la surface du sol pendant que des racines adventives se développent. Ainsi la plante colonise petit à petit tout le terrain disponible d'autant plus qu'elle résiste très bien à une humidité élevée du sol. Au cours de l'année qui suit l'ensemencement, l'alpiste recouvre l'ensemble du champ si les conditions climatiques et les épandages des eaux usées sont adéquats.

L'arrosage ne doit pas dépasser la capacité d'absorption du sol et la capacité d'évapotranspiration de la couverture végétale. On recommande, après une vérification de la perméabilité du sol, un taux d'épandage maximum de 5 cm en une journée suivi de 5 jours de repos. L'arrosage ne doit pas être fait lorsqu'il pleut puisque le terrain pourrait regorger d'eau. La nappe phréatique doit être suffisamment profonde pour éviter sa contamination, 1m au-dessous du niveau du sol constitue la distance minimale.

La vérification d'un champ d'épandage doit être faite régulièrement: aucune accumulation d'eau ne doit être tolérée sur un champ servant à l'irrigation. La



végétation doit avoir une croissance relativement uniforme, elle est le reflet d'un arrosage adéquat.

L'épandage d'eaux usées industrielles peut apporter des substances nuisibles pour la croissance de l'alpiste roseau. La salinité des effluents de certaines conserveries peut être néfaste aux végétaux. On estime que la concentration en sels dissous doit être inférieure à 1500 mg/l. De plus, le rapport d'absorption du sodium (RAS) doit être inférieur à 8; ce rapport est calculé ainsi^(46, 56):

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

Lorsque le rapport est supérieur à 8, les ions sodium se substituent aux ions calcium et ils colmatent le sol. La salinité de l'eau des puits peut donc augmenter même si on exige de respecter une distance de 150 m entre le champ irrigué et le puits le plus proche. Si les eaux usées contiennent des nitrates, il est conseillé de surveiller l'évolution de la nappe phréatique. A cet effet, la compagnie installe des piézomètres, recueille périodiquement des échantillons et enregistre l'augmentation de la concentration des nitrates dans la nappe phréatique.

Les conditions climatiques ont des répercussions importantes sur l'irrigation par aspersion. Les odeurs peuvent atteindre les occupants des habitations voisines ou d'une agglomération; une distance de 150m doit être respectée entre celles-ci et le champ d'épandage. Il faut également tenir compte des eaux de pluie pour ne pas dépasser le taux d'épandage maximal. L'enneigement, le gel de la végétation et du sol interdisent l'utilisation de ce procédé pendant de nombreux mois. Dans la plaine du Saint-Laurent, on considère que l'irrigation par aspersion peut être faite de la mi-mai à la mi-novembre.

Une entreprise qui transforme des matières premières tout au long de l'année et qui dispose de ses effluents par cette méthode, doit stocker les eaux usées produites quotidiennement pendant au moins deux cents (200) jours. Il lui faut donc prévoir un bassin d'accumulation pour recueillir les effluents en dehors des périodes d'épandage et le localiser à une distance raisonnable de toute habitation

puisque des odeurs de fermentation apparaîtront. Dans un tel cas, la direction des vents dominants fait augmenter la distance qui a été signalée dans le paragraphe précédent (150 m).

A titre d'information, on signale que les effluents industriels dont le débit est inférieur à 100 m³/d, peuvent également être épurés par l'installation d'une fosse septique suivie d'un élément épurateur. Ce dernier n'est ni plus ni moins qu'une irrigation souterraine. Afin de conserver le pouvoir épurateur de ce type d'installation, on doit s'assurer de maintenir des conditions aérobies en évitant une surcharge organique ou hydraulique. Pour de telles installations, on recommande au lecteur de consulter le "Cahier Technique fosses septiques et éléments épurateurs" préparé par le Service de l'assainissement des eaux du MEF en 1995⁽⁵⁷⁾.

7.5.2.2 Boues activées

Le traitement des eaux usées par boues activées est connu depuis plusieurs décennies et il est encore l'objet de nombreuses études. Il peut être décrit sommairement ainsi: l'effluent à traiter est mélangé aux boues recirculées provenant du décanteur secondaire, avant son introduction dans un réacteur où la liqueur mixte est aérée. Le temps de rétention varie selon la nature des eaux à épurer. L'effluent de ce réacteur est ensuite dirigé vers le décanteur secondaire où les solides formant la biomasse sont séparés du liquide. L'effluent est rejeté dans un cours d'eau s'il respecte les normes ou envoyé vers le traitement de polissage dans le cas contraire. Les solides récoltés dans le décanteur secondaire sont recirculés vers l'entrée du réacteur où ils sont mélangés à l'effluent tel que mentionné ci-dessus^(45, 51). La figure 7-25 schématise le traitement par boues activées.



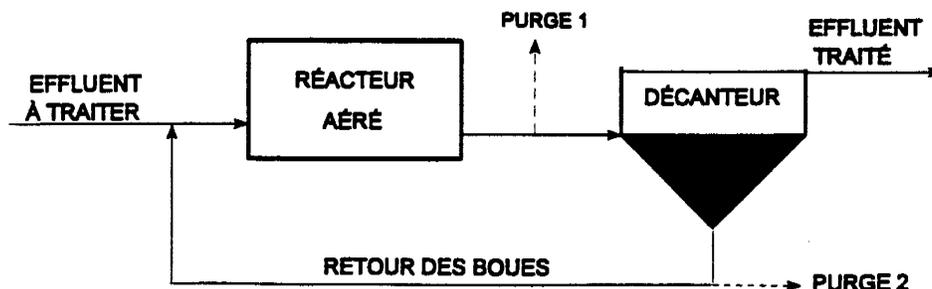


Figure 7-25: Traitement par boues activées

Le réacteur biologique aéré est le siège de la formation de boues floculantes au fur et à mesure que les microorganismes se multiplient. La transformation peut être symbolisée par l'équation suivante:



matière
organique
(formule générale
relative)

bactérie
nouvelle
(formule générale
relative)

Le traitement par boues activées exige que l'âge des boues soit contrôlé. Le contrôle est fait en procédant à la purge d'une fraction des boues décantées, "purge 2" sur la figure 7-25 ou d'une fraction de l'effluent du réacteur, "purge 1" sur cette même figure. La première façon permet une purge moins volumineuse alors que la seconde permet un contrôle plus facile de l'âge des boues, puisque la concentration de la biomasse est connue et indépendante de l'indice de volume des boues.

On rappelle que l'équation, page 7-100 permet de calculer l'âge des boues lorsque la purge est faite au niveau des boues décantées ("purge 2", figure 7-25). Si la purge est faite sur la conduite qui achemine la liqueur mixte au décanteur (purge 1) on emploie la même équation, cependant X_p et X sont identiques dans ce cas.

Quant à l'indice de volume des boues, il est défini comme étant le volume occupé, en ml, par 1g de matières en suspension dans la liqueur mixte après 30 minutes de décantation⁽⁴⁾. On le symbolise par les lettres SVI, acronyme anglais de "Sludge Volume Index", qui est calculé ainsi:

$$\text{SVI} = \frac{\text{volume des boues décantées}}{\text{MLSS}} \times 1000$$

Dans cette formule, les unités sont:

- volume des boues décantées : ml/l;
- MLSS, matières en suspension dans la liqueur mixte : mg/l;
- 1000, facteur de conversion : mg/g.

L'unité du SVI est donc des millilitres par gramme (ml/g). Des valeurs comprises entre 80 et 120, voire 40 et 150, sont généralement déclarées satisfaisantes^(58, 59). En fait, on se sert de cet indice pour évaluer l'aptitude d'une boue à décanter.

Plusieurs chercheurs ont étudié les variations de l'indice de volume des boues en fonction du rapport F/M et la figure 7-26, tirée du livre de Roques⁽⁵⁹⁾ illustre ces variations.

Les traitements par boues activées sont communément répartis en trois catégories à partir du rapport F/M:

- faible charge (souvent qualifié d'oxydation totale);
- moyenne charge (souvent qualifié de procédé conventionnel);
- forte charge.



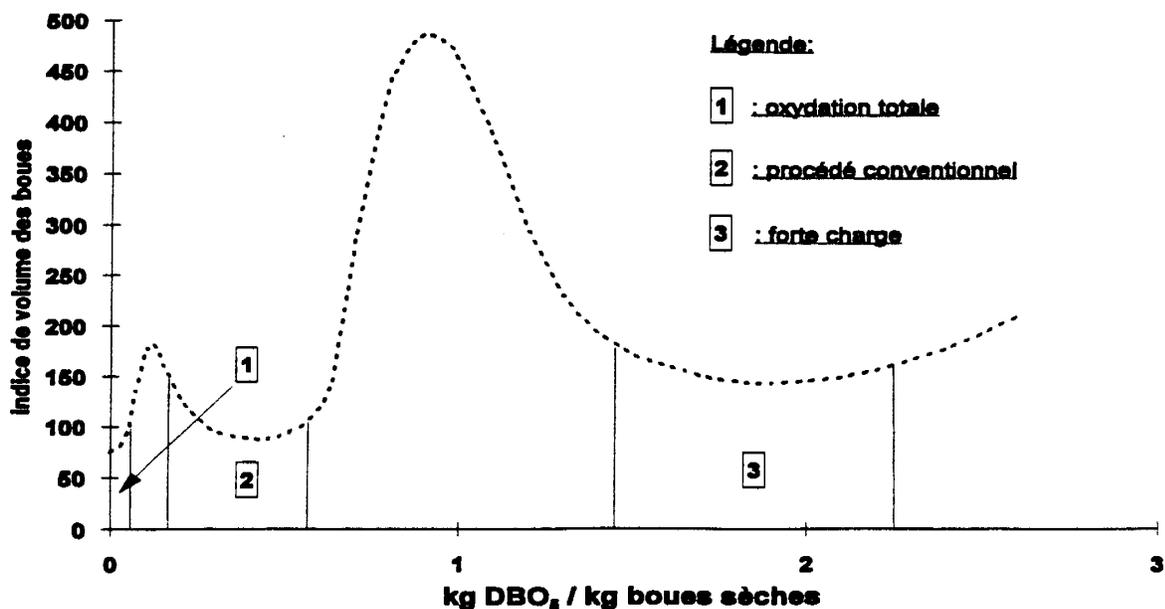


Figure 7-26: Variations de l'indice de Molhman en fonction du rapport F/M

On trouve les principales caractéristiques de chaque catégorie dans le tableau 7-14⁽⁵⁹⁾. Les eaux usées des industries agro-alimentaires dont la concentration en matières organiques biodégradables est très élevée conviennent très bien à un procédé à faible charge, par exemple le réacteur biologique séquentiel⁽⁷⁾.

Tableau 7-14: Principales caractéristiques des trois catégories de traitement par boues activées

Catégories de boues activées	Faible charge (oxydation totale ou aération prolongée)	Moyenne charge (procédé conventionnel)	Forte charge
Principales caractéristiques			
Rapport F/M* (kg DBO ₅ /kg MLVSS-d)	0,02 à 0,1	0,2 à 0,6	1 à 5
Taux de recyclage des boues (%)	> 95	80 à 95	60 à 80
Concentration de la biomasse dans le réacteur (MLVSS en mg/l)	5000 à 8000	3000 à 5000	1500 à 3000
Nitrification	très avancée	amorcée	nulle
Pourcentage de réduction de la charge polluante (%)	> 90	80 à 90	50 à 70

* Remarque: d'un auteur à l'autre les fourchettes des rapports F/M varient légèrement de même que la concentration de la biomasse dans le réacteur.

La cinétique du traitement dans un réacteur à boues activées, à l'état d'équilibre, peut être décrite par l'équation développée par Lawrence et McCarthy⁽⁶⁰⁾:

$$S_o - S_e = \frac{XV(1 + K_d\theta_c)}{\theta_c Y Q}$$

où:

- S_o et S_e = concentration de la matière organique, à l'entrée et à la sortie du réacteur, exprimée en DBO_5 , mg/l;
- X = concentration de la biomasse dans le réacteur (MLVSS), mg/l;
- V = volume du réacteur, m^3 ;
- K_d = taux de décès de la biomasse, d^{-1} ;
- θ_c = âge des boues, d;
- Y = taux d'utilisation du substrat (kg DBO_5 /kg MLVSS);
- Q = débit, m^3/d .

7.5.2.3 Lagunes

Les industries hors-réseau peuvent en principe recourir à des lagunes pour épurer leurs effluents. Cependant dans la province de Québec, seuls les étangs aérés facultatifs présentent un certain intérêt d'après les raisons énumérées dans le "Cahier technique de conception pour les lagunes"⁽⁶¹⁾.

Dans ces étangs, l'aération ne maintient pas tous les solides en suspension. Ceux qui se déposent sont biodégradés en phase anaérobie. Labonté et al⁽⁶²⁾ ont proposé une équation adaptée des travaux d'Eckenfelder pour prédire l'évolution de la DBO_5 :

$$\frac{S_e}{S_o} = \frac{1}{1 + Kt} \text{ F.C.}$$



où:

- S_e = DBO₅ de l'effluent, mg/l;
- S_o = DBO₅ de l'affluent, mg/l;
- K = taux d'enlèvement de la DBO₅, d⁻¹;
- t = temps de rétention dans l'étang, d;
- F.C.= facteur de correction s'appliquant uniquement aux deux premiers étangs d'une série, à cause de l'importance plus grande des dépôts sujets à une décomposition anaérobie. Il est égal à 1,2 en été et à 1,05 en hiver.

Il est bon de souligner qu'il n'est pas recommandé d'utiliser cette équation pour plus de quatre bassins en série et le taux d'enlèvement de la DBO₅, K , doit être déterminé en laboratoire lorsqu'il s'agit d'eaux usées industrielles. Ce taux est également affecté par la température⁽⁶¹⁾.

Au Québec, il est recommandé que le temps de rétention des étangs facultatifs soit compris entre 150 et 240 jours et que leur profondeur atteigne 1,5 à 2,1m. Le traitement des eaux usées par ce procédé nécessite donc une grande superficie de terrain. L'efficacité de ces étangs pour réduire la DBO₅ se situe entre 80 et 90%. La réduction des MES est plus faible, 50 à 80% et ils ne garantissent pas que les normes de rejet dans un cours d'eau seront respectées. Un traitement complémentaire peut s'avérer nécessaire.

7.5.2.4 Réacteur biologique séquentiel (RBS)

Dans la province de Québec de nombreux effluents industriels, principalement ceux des usines agro-alimentaires, hors-réseaux, sont traités dans des réacteurs biologiques séquentiels. Ce traitement biologique peut être associé à un traitement par boues activées qui fonctionne en discontinu et qui possède les caractéristiques hydrauliques d'un réacteur à écoulement piston.

On a généralement recours à un seul bassin dans lequel sont réalisées les cinq étapes suivantes:

- le remplissage;
- la réaction;
- la décantation;
- le soutirage;
- le repos.

a) le remplissage

L'effluent à traiter est introduit dans le bassin et ajouté à la biomasse conservée à la suite du cycle précédent. Pendant cette phase, la liqueur peut être agitée et aérée.

b) la réaction

La matière organique est dégradée par la biomasse. L'alternance de phases aérobies, anoxiques et anaérobies dans la liqueur mixte, en contrôlant la quantité d'oxygène dissous, permet d'effectuer la nitrification /dénitrification de même que la déphosphatation biologique selon les besoins. La purge de boues, servant à contrôler l'âge des boues, peut être effectuée à cette étape alors que la liqueur mixte est bien mélangée.

c) la décantation

Pour séparer la biomasse de l'eau, on arrête l'aération et l'agitation. La biomasse se dépose au fond du bassin. La durée de la décantation est d'au moins 30 minutes.



d) le soutirage

L'eau traitée est évacuée du bassin et dirigée vers le cours d'eau le plus proche lorsqu'il s'agit d'une industrie hors-réseau. S'il est prévisible que la qualité de l'effluent du RBS sera insuffisante pour un rejet au cours d'eau, on envoie cet effluent vers un traitement de polissage.

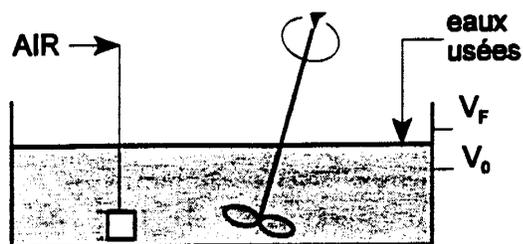
- e)** La biomasse restante à la fin du soutirage est remise en suspension par le mécanisme d'agitation et elle peut être aérée pendant cette période. On signale que le contrôle de l'âge des boues peut être fait en effectuant leur purge à partir des boues concentrées, avant de remettre la biomasse en suspension.

La figure 7-27 résume le principe de fonctionnement d'un RBS.

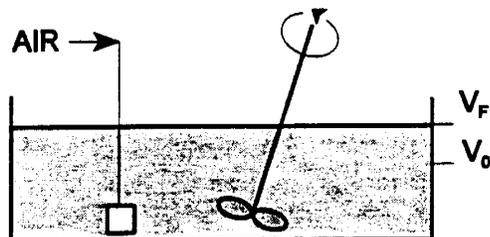
Actuellement, il n'existe pas de méthode de conception des RBS universellement reconnue. On recommande, dans le cas des industries agro-alimentaires, d'exploiter le RBS comme un procédé à aération prolongée. C'est-à-dire un système dont les caractéristiques principales sont:

- le rapport F/M compris entre 0,05 et 0,15 kg DBO₅/kg MLVSS.d;
- l'âge des boues supérieur à 20 jours;
- le temps de rétention hydraulique supérieur à 2 jours;
- la concentration de la liqueur mixte, exprimée en MLVSS, comprise entre 3000 et 8000 mg/l.

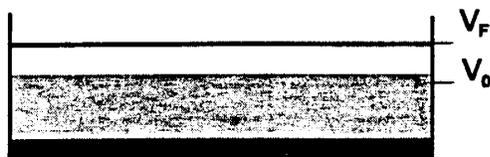
La conception du RBS dépend de plusieurs facteurs tels que: le débit des eaux usées, leurs caractéristiques, les horaires de production, les normes de rejet, etc.



REPLISSAGE
aération et
mélange variable



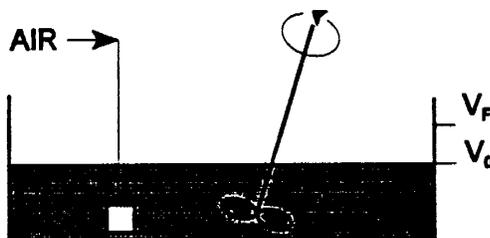
RÉACTION
aération et mélange
variable.
possibilité de purge de la
liqueur mixte



DÉCANTATION
séparation
solide-liquide



SOUTIRAGE
évacuation des
eaux usées épurées



REPOS
possibilité d'aération,
de mélange et de purge
des boues

NOTES: V_F : Volume final (à la fin de la production et du nettoyage)
 V_0 : Volume initial (au début de la production)

Figure 7-27: Étapes du fonctionnement d'un RBS



Pour plus d'information, on peut se référer au "Cahier technique de conception pour les réacteurs biologiques séquentiels- industrie agro-alimentaire" du ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec⁽⁵⁴⁾.

7.5.2.5 Traitements biologiques à cultures fixées

Les principales catégories des traitements biologiques à cultures fixées sont:

- les biodisques;
- les lits bactériens;
- les biofiltres.

Dans ces systèmes, on offre un support aux bactéries sur lequel elles se développent au fur et à mesure qu'elles dégradent les substances contenues dans les eaux usées.

Les paragraphes qui suivent expliquent sommairement chacune des trois catégories énumérées ci-dessus.

a) les biodisques^(7, 48, 51)

L'épuration des eaux est faite par la biomasse qui se fixe sur des plaques tournantes. Celles-ci n'étant submergées que partiellement, la biomasse se trouve alternativement en contact avec l'air et le liquide à épurer. La rotation des disques, autre appellation des plaques tournantes, nécessite un système d'entraînement et de ce fait les problèmes mécaniques de ce procédé épurateur diminue sa fiabilité comparativement à d'autres. La biomasse s'accumule sur les disques et se détache périodiquement; il faut donc effectuer une décantation avant de rejeter l'effluent.

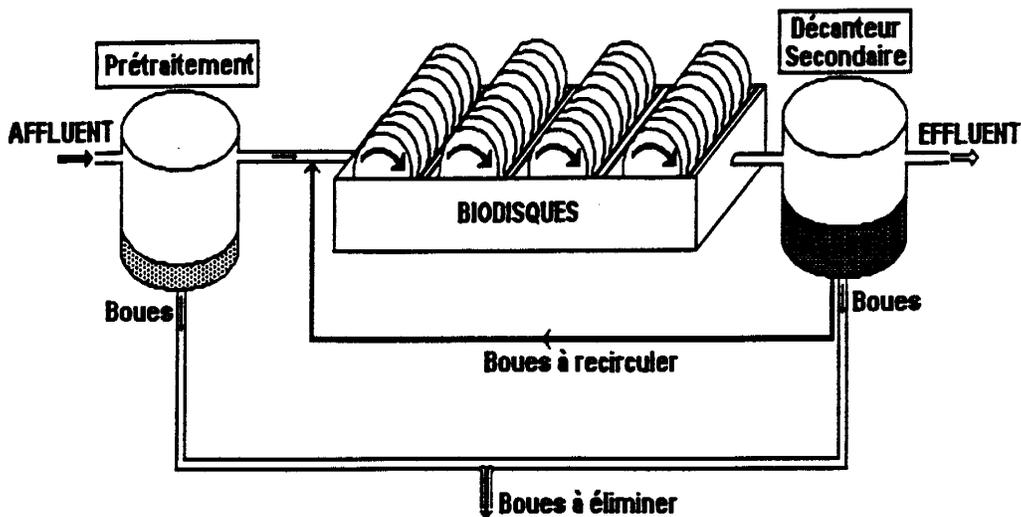


Figure 7-28: Schéma du traitement par des biodisques

b) les lits bactériens^(7, 46, 51)

Les lits bactériens sont constitués d'un empilage de matériaux de remplissage naturels ou synthétiques grossiers, certains manufacturiers proposent des lanières flexibles suspendues. Les eaux usées sont pompées et distribuées au-dessus de ces matériaux. L'eau usée dégouline et est épurée par la biomasse qui se développe sur les surfaces mises à leur disposition. Une partie importante de cette eau est recirculée au sommet du lit bactérien de sorte que l'équipement doit être dimensionné en conséquence. Comme la biomasse se détache également périodiquement, il faut donc réaliser une décantation secondaire avant de rejeter l'effluent traité par ce procédé.

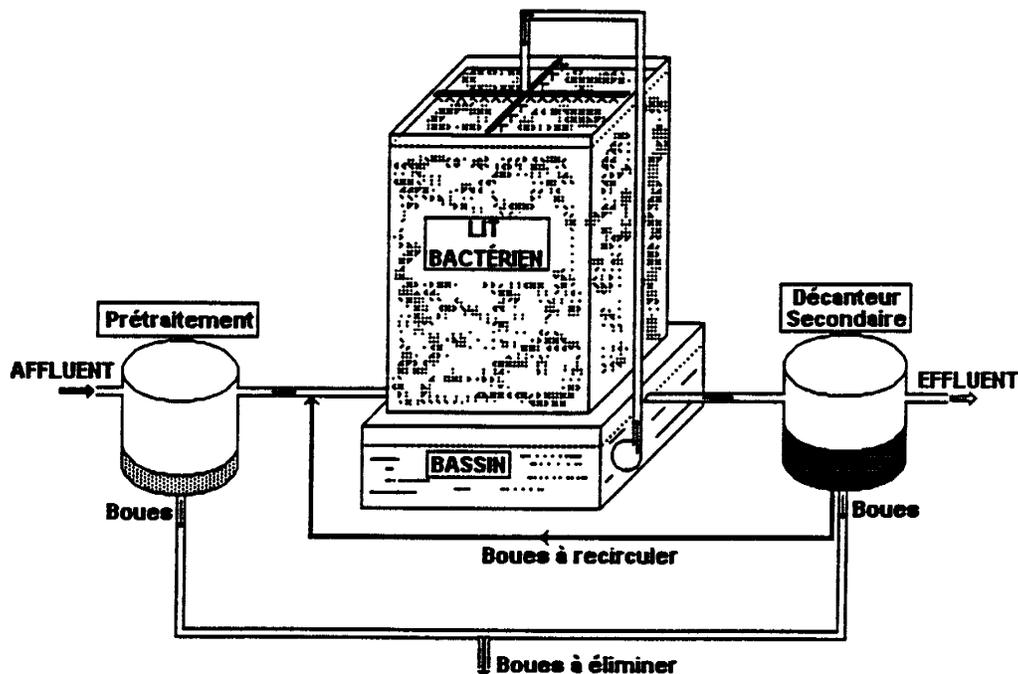


Figure 7-29: Schéma du traitement par des lits bactériens

c) les biofiltres^(7, 46, 51)

Les biofiltres sont également utilisés pour épurer des eaux usées à l'aide de cultures fixées. Cependant, dans ce système le support immergé est constitué de matériaux de remplissage relativement fins puisque leur diamètre moyen est de quelques millimètres; les articles techniques mentionnent souvent un diamètre compris entre 2 et 6 mm. L'écoulement peut se faire de haut en bas ou de bas en haut. Lorsque les eaux à épurer sont quelque peu polluées, de l'air est soufflé pour qu'il circule de la base au sommet du biofiltre.

Plusieurs références précisent que ce type de traitement exige que les eaux à épurer contiennent moins de 100 mg/l de MES à l'entrée des biofiltres et signalent que la DBO₅ correspondante doit être inférieure à 300 mg/l. Par

conséquent, les eaux industrielles à traiter doivent subir un prétraitement pour en retirer les matières en suspension si leur concentration est trop élevée.

La faible granulométrie des matériaux de remplissage entraîne un colmatage progressif du biofiltre et il doit être lavé à contre-courant régulièrement. Ces quelques lignes indiquent donc que les eaux de lavage des biofiltres doivent être dirigées vers un décanteur.

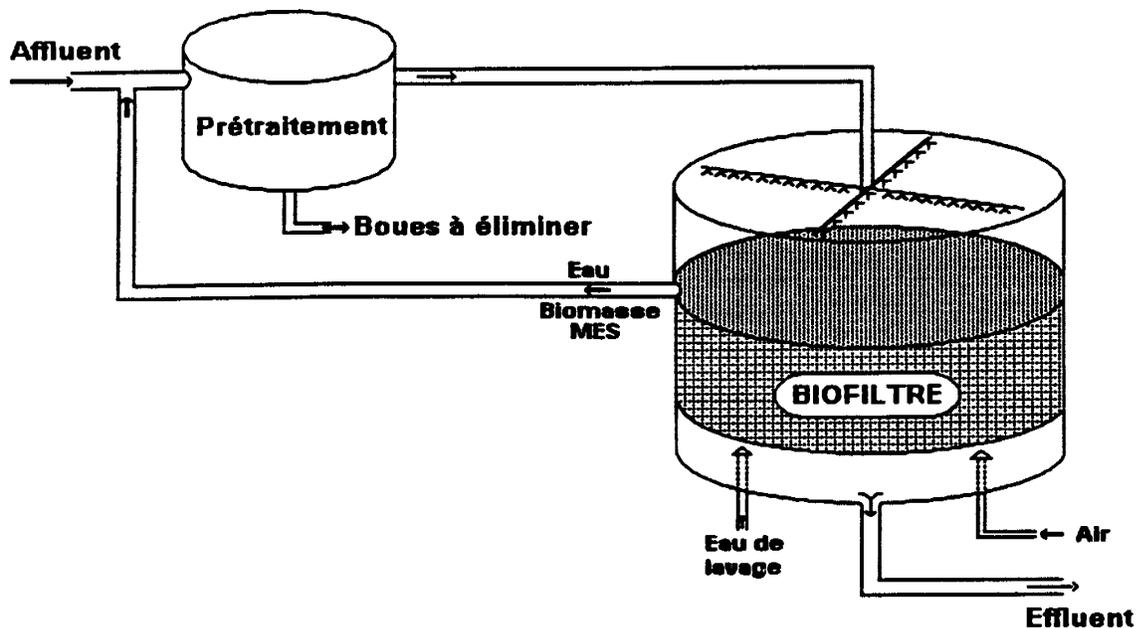


Figure 7-30: Schéma du traitement par des biofiltres

Au cours des dernières années, des études ont été réalisées pour concevoir des biofiltres destinés à traiter des effluents industriels dans la province de Québec^(63, 64). Le secteur le plus souvent mentionné est celui des pâtes et papiers. Ailleurs dans le monde, on signale l'existence de plusieurs unités de biofiltration qui traitent les eaux des usines papetières, des alumineries, des industries agro-alimentaires, etc. Cependant, les partisans de la biofiltration rappellent systématiquement qu'ils dirigent, vers ce type de

traitement à cultures fixées, des eaux de procédé diluées ou des eaux prétraitées.

7.5.3 Traitements biologiques anaérobies

7.5.3.1 Généralités

La dégradation des matières organiques par voie biologique peut être faite en l'absence d'oxygène, on parle alors d'un traitement anaérobie. La dégradation anaérobie se déroule essentiellement en deux phases: au cours de la première, appelée acidogénèse, les micro-organismes transforment la matière organique complexe en acides gras volatils: les acides acétique, propionique, butyrique, valérique, etc.. Au cours de la seconde, appelée méthanogénèse, les micro-organismes transforment l'acide acétique en un mélange gazeux composé à 70% de méthane (CH_4) et à 30% de dioxyde de carbone. C'est généralement la phase limitante, à cause du faible taux de croissance des micro-organismes impliqués dans cette réaction.

La méthanogénèse est également réalisée à partir de l'hydrogène et du dioxyde de carbone, mais à un taux moindre. Une phase intermédiaire, entre l'acidogénèse et la méthanogénèse correspondant à la transformation des acides butyrique, propionique, valérique, etc. en acide acétique est souvent mentionnée, on parle alors d'acétogénèse. Il y a également d'autres étapes intermédiaires mais de moindre importance. La figure 7-31 résume les phases et les principales transformations qui se produisent au cours de la dégradation anaérobie^(7, 46, 51).

Le traitement anaérobie d'un effluent exige des ouvrages de grandes dimensions et le procédé d'épuration est plus complexe à contrôler que celui du traitement aérobie. Les coûts d'immobilisation et de fonctionnement s'avèrent donc plus élevés. Ces contraintes découragent plusieurs usagers potentiels. En fait, les avantages économiques de ce type de procédé ne deviennent évidents que lorsque l'effluent à traiter est fortement pollué, c'est-à-dire lorsque la DCO est

supérieure à 3000 mg/l et lorsque le volume du biogaz produit est suffisant pour justifier sa récupération et son utilisation⁽⁶⁵⁻⁶⁹⁾.

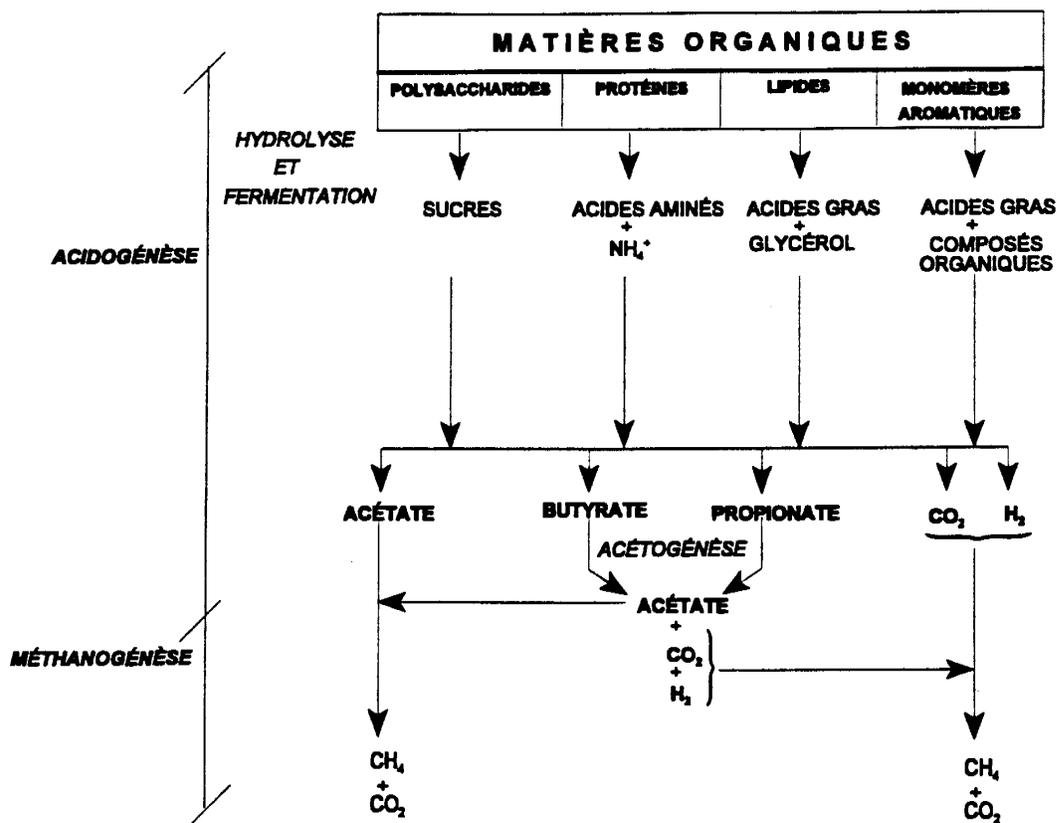


Figure 7-31: Phases de la dégradation anaérobie

La figure 7-32 présente une chaîne typique comportant un traitement anaérobie. Il est bon de noter que ce type de traitement biologique doit être suivi d'un traitement aérobie pour compléter l'épuration des eaux usées, même si les réacteurs anaérobies permettent d'enlever 80 à 90% de la DCO initiale.

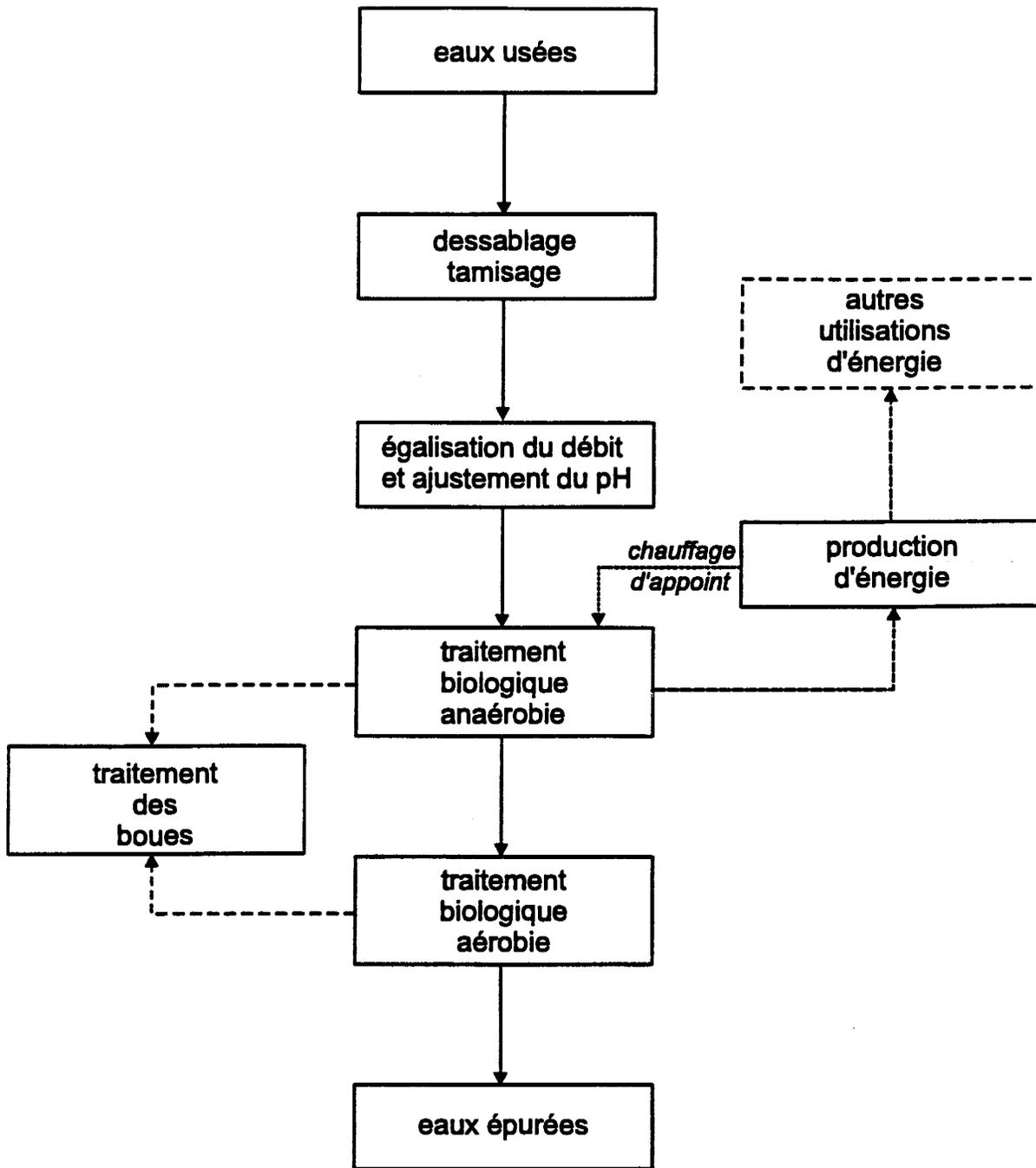


Figure 7-32: Diagramme de l'épuration des eaux usées par un traitement anaérobie

7.5.3.2 Particularités du traitement anaérobie

Plusieurs éléments mentionnés dans le paragraphe 7.5.1 s'appliquent également dans le traitement anaérobie cependant, pour celui-ci, il convient de tenir compte des conditions particulières suivantes^(7, 46):

- la plupart des microorganismes actifs étant des anaérobies stricts, il convient de s'assurer qu'il n'y ait pas d'oxygène présent dans le réacteur;
- deux plages de température d'opération sont possibles pour la dégradation anaérobie selon les microorganismes qu'on veut privilégier, il s'agit de:
 - 35-38°C: pour les bactéries mésophiles;
 - 50-55°C: pour les bactéries thermophiles.

Cependant, compte tenu des conditions climatiques québécoises et des difficultés de contrôle lors de l'opération, la digestion mésophile est généralement favorisée par rapport à la digestion thermophile;

- le contrôle du pH dans un système anaérobie est d'autant plus important que le pH optimum de la phase acidogène varie de 5,5 à 6,5 unités alors que le pH optimum de la phase méthanogène se situe entre 7,0 et 7,5 unités. Le système doit être maintenu en état d'équilibre, ce qui rend son opération assez difficile;
- la présence de nitrates, d'ammoniaque et de sulfure d'hydrogène dans l'affluent inhibe la digestion anaérobie à cause de leurs effets toxiques sur les microorganismes acétogènes et méthanogènes.



7.5.3.3 Avantages et inconvénients des traitements anaérobies

Le traitement biologique anaérobie présente de nombreux avantages notamment:

- le principal avantage d'un traitement anaérobie réside dans sa capacité à produire du biogaz dont la combustion permet de récupérer une partie de l'énergie nécessaire à l'opération, réduisant ainsi les coûts. On estime que la dégradation de 1000 mg/l de DCO permet d'obtenir 0.5 m³ de biogaz, contenant en moyenne 70% de CH₄ et 30 % de CO₂ et la combustion du méthane fournit 3000 kcal, soit l'équivalent de 3,4 kWh d'électricité;
- le traitement anaérobie produit deux à cinq fois moins de boues comparativement à un traitement aérobie;
- les boues produites par le traitement anaérobie ne nécessitent pas de stabilisation ultérieure, ce qui n'est pas toujours le cas des traitements aérobies;
- les coûts d'opérations sont inférieurs à celui d'un traitement aérobie comparable étant donné que le traitement anaérobie ne nécessite pas d'apport d'oxygène. Par conséquent, une économie de l'ordre de 25% est réalisée sur les coûts énergétiques;
- une biomasse de microorganismes anaérobies bien adaptée peut demeurer sans alimentation pendant des périodes aussi longues que trois semaines et redevenir active très rapidement lorsque les eaux usées sont de nouveau introduites dans le réacteur;
- comme conséquence d'une faible production de biomasse, la demande en azote et en phosphore est nettement inférieure à celle des traitements aérobies. On peut ainsi retrouver des systèmes avec un rapport DBO₅/N/P aussi bas que 100/2/0.05.

- contrairement au traitement aérobique qui accepte des charges en DBO_5 variant entre 1500 et 3000 mg/l, la digestion anaérobique fonctionne bien avec des charges dépassant les 3000 mg/l ce qui en fait un excellent prétraitement;
- si le système anaérobique est tenu fermé, les seules odeurs produites par la digestion sont celles émanant du biogaz contenant des traces de sulfure d'hydrogène issu de la réduction du soufre contenu dans la matière organique. La combustion du gaz éliminera facilement ce problème;
- l'expérience a démontré que le passage de l'effluent dans un digesteur anaérobique réduit suffisamment le nombre de pathogènes présents et élimine à toute fin pratique les risques d'une contamination;
- la présence d'une plus grande quantité d'azote dans les boues favorise la valorisation des boues comme fertilisant;
- puisque les réacteurs anaérobiques sont souvent conçus pour traiter des effluents fortement pollués, il s'ensuit que le réacteur et les équipements connexes sont de dimensions plus réduites, ce qui permet des économies d'espace.

Le traitement anaérobique a également des inconvénients en particulier:

- l'activité des bactéries étant très faible à basse température, il se peut que l'on doive utiliser une partie du biogaz formé pour chauffer le réacteur;
- même si les différents réacteurs anaérobiques permettent de réduire la DCO de 80 à 90%, la digestion anaérobique doit être suivie d'un traitement aérobique pour compléter le traitement des eaux usées (voir la figure 7-32 du sous-paragraphe 7.5.3.2). Les principales raisons sont les suivantes:



- . des eaux brutes aux DCO élevées ainsi que de fréquentes variations du débit et de la charge;
- . la présence d'éléments nutritifs résiduels;
- . la transformation de l'azote organique en azote ammoniacal lequel est toxique et présente une forte demande en oxygène;
- pour démarrer un réacteur, il est courant de l'ensemencer avec des microorganismes provenant d'un autre réacteur anaérobie. Il faudra compter entre 8 et 12 semaines pour que le système soit à l'équilibre;
- les microorganismes anaérobies ont besoin de pH optimums, de ce fait, le système est très sensible à des perturbations provoquées par des sources externes. De plus, ces microorganismes sont plus sensibles à l'action de substances toxiques comparativement aux systèmes aérobies;
- étant donné la production de biogaz, il existe des risques d'explosion et d'incendie inhérents à la manutention de celui-ci. Des précautions doivent être prises lors de la construction et les techniciens chargés de faire fonctionner le réacteur anaérobie doivent être formés en conséquence.

7.5.3.4 Conception des bioréacteurs anaérobies

La biocinétique impliquée dans la digestion anaérobie rend la modélisation de la réaction difficile à cause des multiples étapes de la digestion. On peut cependant utiliser la relation suivante pour l'établir d'une façon approximative⁽⁶⁹⁾:

$$r = q \times x$$

où:

- r = taux d'enlèvement du substrat (kg DCO/m³.d)
- q = taux d'enlèvement spécifique du substrat (kg DCO/kg MLVSS.d)
- x = concentration de la biomasse dans le réacteur (kg MLVSS/m³)

On définit le temps de rétention des solides en suspension par:

$$TRS = \frac{1}{\mu}$$

où:

- TRS = temps de rétention de la biomasse (d)
- μ = taux de croissance de la biomasse (d⁻¹)

et μ peut être estimé en utilisant l'équation suivante:

$$\mu = \frac{dx}{x \cdot dt} = \gamma \left(-\frac{ds}{dt} \right) - b$$

où:

- γ = taux spécifique de formation de la biomasse (kg MLVSS/kg DCO)
- s = concentration du substrat (kg DCO/m³)
- b = taux de décès (d⁻¹)

Afin de mieux cerner un traitement anaérobie, pour une conception éventuelle, on définit également la charge volumique du système:

$$Bv = \frac{Ci \times Q}{V}$$

où:

- Bv = charge volumique (kg DCO/m³.d)
- Ci = concentration du substrat (kg DCO/m³)
- Q = débit de l'effluent (m³/d)
- V = volume du réacteur (m³)



La charge volumique, le taux d'enlèvement du substrat, le temps de résidence hydraulique sont les principaux paramètres de conception du système de traitement anaérobie. Ces paramètres sont définis par des essais-pilotes.

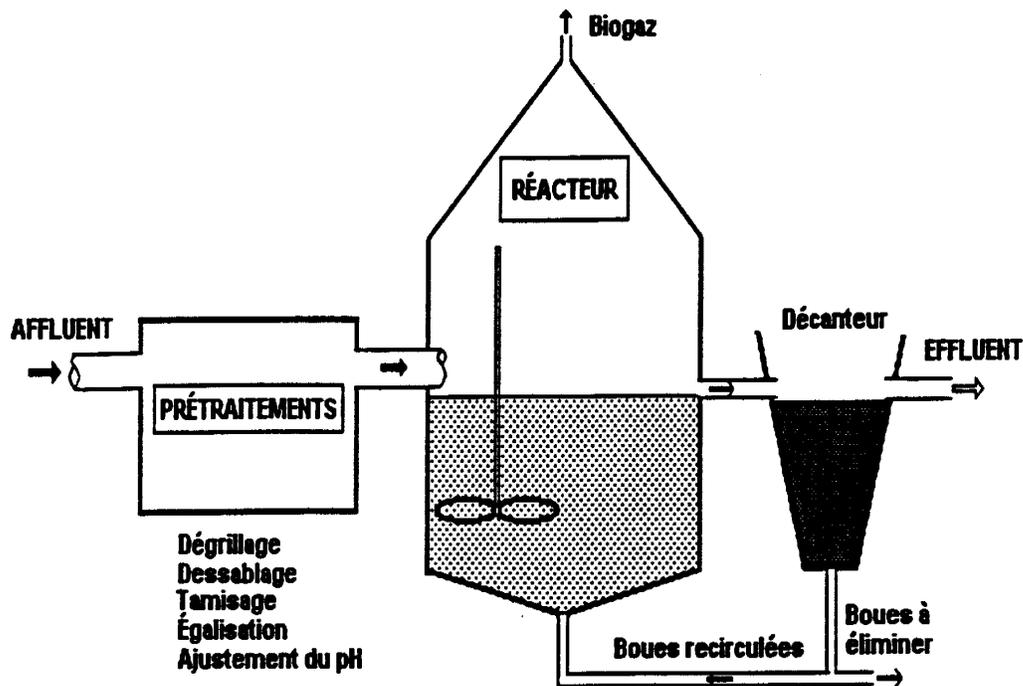
7.5.3.5 Types de bioréacteurs anaérobies

La digestion anaérobie des effluents, au cours des dernières années, a fait l'objet de plusieurs études. Elles ont permis de concevoir plusieurs configurations de réacteurs et on les regroupe en trois catégories⁽⁶⁹⁾:

- les réacteurs à biomasse en suspension;
- les réacteurs à biomasse fixée;
- les réacteurs hybrides.

a) les réacteurs à biomasse en suspension:

Ces réacteurs ne sont en fait que des réservoirs dans lesquels le temps de rétention est suffisant pour permettre la croissance de la biomasse. Ce réservoir doit être scellé afin de récupérer le biogaz et d'éviter la fuite d'odeurs nauséabondes. Deux configurations principales sont proposées: le digesteur anaérobie dans lequel la masse liquide est complètement mélangée et le bioréacteur à recirculation de boues, aussi appelé réacteur à contact anaérobie. Dans le premier système, la liqueur mixte est maintenue homogène donc la concentration de la biomasse dans l'effluent est identique à celle de la liqueur mixte; dans ce type de réacteur, le temps de rétention hydraulique est le même que le temps de séjour de la biomasse. Dans le second système, on retrouve le diagramme d'écoulement du traitement par boues activées: on soutire la biomasse de l'effluent du réacteur à l'aide d'un décanteur pour la réinjecter en tête du traitement. On augmente ainsi le temps de séjour de la biomasse.



**Figure 7-33: Réacteur anaérobie à biomasse en suspension
(avec recirculation d'une partie de la biomasse)**

Ces configurations sont parmi les premières proposées. Le temps de résidence hydraulique est très long (souvent de 30 à 60 jours). On utilise ces réacteurs pour une contamination très élevée (50 g de DCO /l ou plus), voire même pour des boues biodégradables.

b) les réacteurs à biomasse fixée:

Pour obtenir un temps de résidence supérieur de la biomasse, on peut la fixer sur un médium. Ce médium peut être fixe (garnissage de colonnes en matière plastique, sphères perforées, feuilles ondulées, etc. ou bien garnissage de roches, blocs d'argile, morceaux de céramique, etc), ou

mobile (disques rotatifs complètement ou partiellement submergés, lits fluidisés). Dans le cas des filtres à lits fixes, le courant est ascendant ou descendant; dans celui des lits fluidisés, il est ascendant tandis que dans les réacteurs à disques rotatifs, il est horizontal et parallèle à l'axe de rotation des disques.

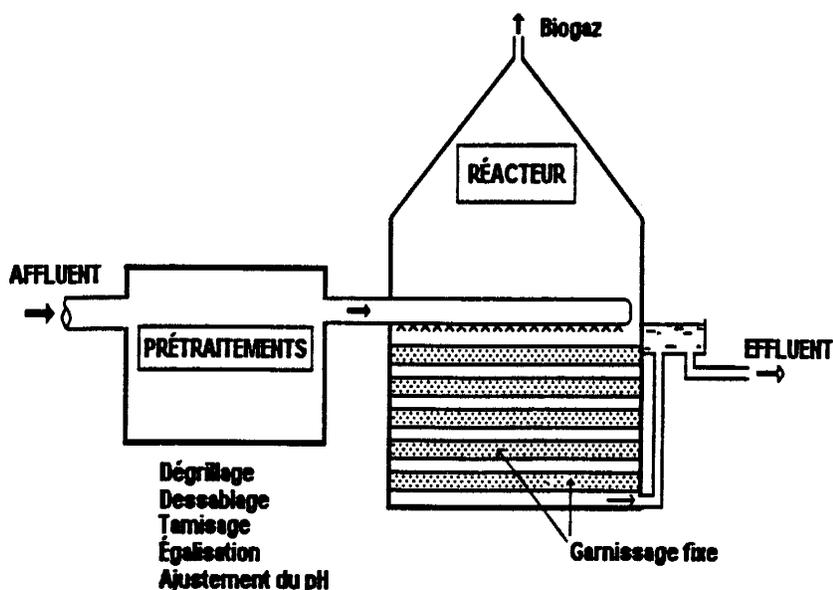


Figure 7-34: Réacteur anaérobie à biomasse fixée

Ce type de configuration permet de fixer la biomasse afin de la maintenir dans le réacteur. Cependant, la période de développement de la biomasse est plus longue. Il faut prévoir une période de plusieurs semaines, ou mois, après la mise en marche du réacteur avant d'avoir une biomasse stable et un traitement constant. Il peut alors supporter mieux les écarts de charge que le réacteur précédent.

c) les réacteurs hybrides:

Pour combiner les avantages des deux réacteurs précédents, on a développé des réacteurs fonctionnant dans des conditions particulières: la

biomasse non fixée est agglomérée pour former une biomasse granulaire pouvant rester en suspension dans le réacteur sans être entraînée par l'effluent. On retrouve dans cette catégorie les bioréacteurs à boues granulaires à flux ascendant (UASB, pour Upflow Anaerobic Sludge Blanket) qui peuvent être utilisés comme un réacteur à lit fluidisé ou encore avec une seconde partie, au-dessus du lit, ayant un médium permettant une fixation de la biomasse. On peut citer également les réacteurs à chicanes, les réacteurs à plateaux⁽⁷⁰⁾, etc. utilisant aussi la biomasse granulaire. Tous ces réacteurs ont un temps de résidence hydraulique beaucoup plus court, limité à quelques jours et même à quelques heures.

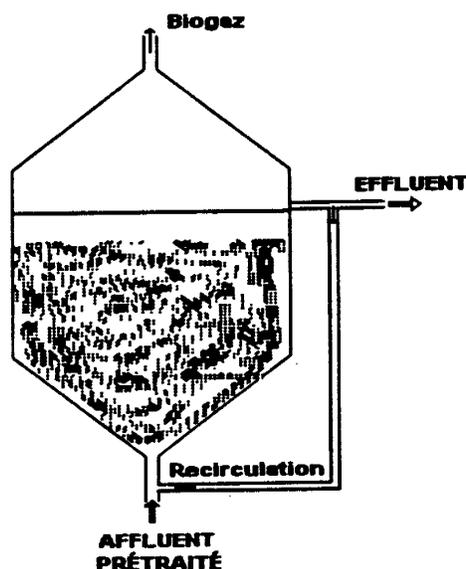


Figure 7-35: Réacteur anaérobie à boues granulaires et à flux ascendant (type UASB)

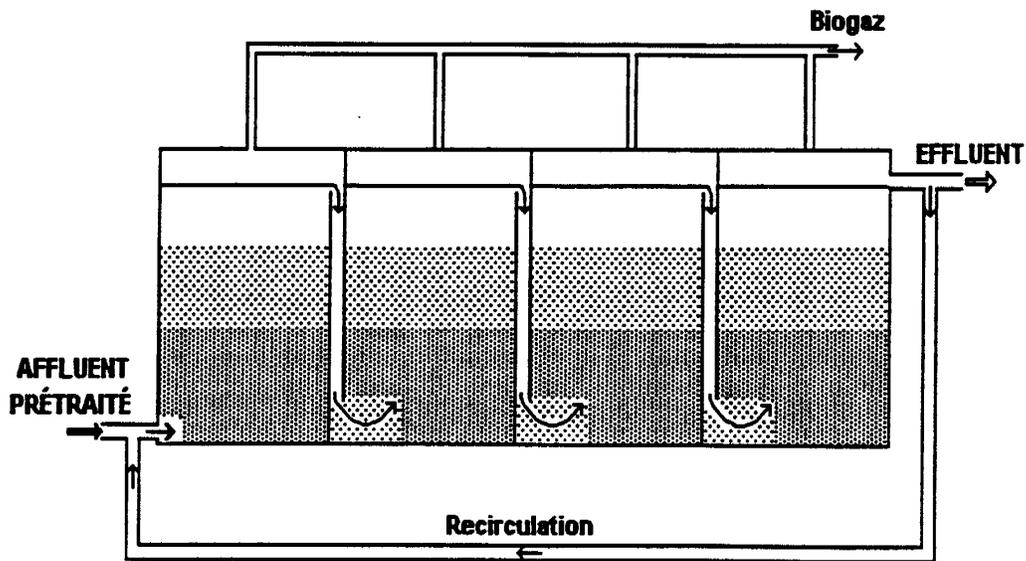


Figure 7-36: Réacteur anaérobie à chicanes

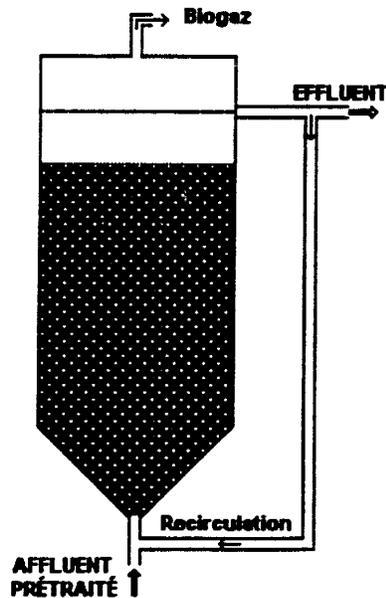
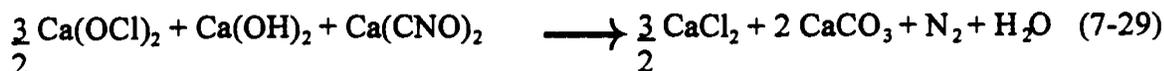


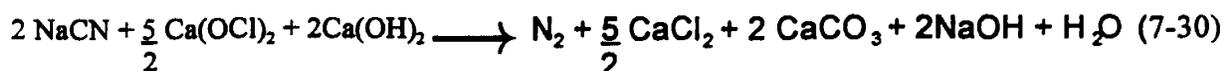
Figure 7-37: Réacteur anaérobie à lit fluidisé

ii. Transformation des cyanates en azote

Les cyanates obtenus par la réaction (7-27) seront convertis en carbonate d'ammonium puis en azote en utilisant un excès d'hypochlorite de calcium et d'hydroxyde de calcium:



L'addition des équations (7-28) et (7-29) donne:



d) Quantités de produits pour oxyder 1 gramme d'ions cyanures.

En se reportant aux équations (7-19), (7-22), (7-23), (7-25), (7-28) et (7-30), on dresse le tableau 7-7.

Tableau 7-7: Quantités de chlore (Cl₂), d'hypochlorite de sodium (NaOCl) et d'hypochlorite de calcium (Ca(OCl)₂) pour oxyder partiellement et totalement 1 gramme de cyanure (CN⁻)

TYPES D'OXYDATION	PRODUITS UTILISÉS		
	CHLORE (Cl ₂) (g/g)	HYPOCHLORITE DE SODIUM (NaOCl) (g/g)	HYPOCHLORITE DE CALCIUM (Ca(OCl) ₂) (g/g)
Oxydation partielle (cyanates)	2,73	2,87	2,75
Oxydation totale (azote)	6,83	7,16	6,88

On a mentionné précédemment qu'un excès de réactifs était nécessaire pour mener à bien l'une ou l'autre de ces oxydations. Dans la pratique, cet excès est généralement de 15 à 20% des quantités apparaissant dans le tableau ci-dessus.

e) Autres considérations^(7,13,14,15)

Pendant que les réactions d'oxydation se produisent, des hydroxydes et des carbonates métalliques peuvent se former puisque le pH est très alcalin. Il faut donc procéder à une décantation puis à une neutralisation des effluents ainsi traités.

On rappelle que l'emploi de l'hydroxyde de calcium lors de l'oxydation par ajout d'hypochlorite de calcium entraîne la formation d'importantes quantités de boues à cause des faibles solubilités du carbonate de calcium (CaCO_3) et de l'hydroxyde de calcium (Ca(OH)_2).

La plupart des références soulignent l'importance de maintenir le pH au-dessus de 10,5 et même de 11 pour empêcher la formation du chlorure de cyanogène (CNCl), du trichlorure d'azote (NCl_3 , un gaz explosif) ou de l'acide cyanhydrique (HCN).

Il est important de rappeler que les effluents contenant des cyanures ne doivent jamais être mélangés à des effluents acides, puisqu'il en résulterait la formation du cyanure d'hydrogène gazeux, bien connu pour sa très grande toxicité et notamment ses effets mortels, lorsque la concentration dans l'air atteint 110 à 220 mg/m^3 pendant une période de 30 à 60 minutes.

Il est aussi possible d'oxyder les cyanures en utilisant:

- le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2);
- le permanganate de potassium (KMnO_4);
- l'ozone (O_3);
- le dioxyde de chlore (ClO_2).

7.4.2.2 Oxydation des sulfures (S^{2-} et HS^-)

On rappelle qu'il est possible de réaliser la désulfuration d'un effluent industriel⁽⁷⁾ cependant, ci-après, on se limite à décrire l'oxydation des sulfures par des produits chimiques d'usage courant tels que le peroxyde d'hydrogène, le permanganate de potassium et le chlore, puisque l'oxydation chimique conduit à la formation d'ions sulfates (SO_4^{2-}) qui s'avèrent peu toxiques et qui ne perturbent guère les traitements biologiques aérobies.

a) Oxydation par le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2)⁽¹⁶⁾

L'utilisation du peroxyde d'hydrogène produit soit du soufre, soit des sulfates selon le pH des eaux à traiter:



D'après l'équation (7-31), 1 g de peroxyde d'hydrogène réagit avec 1 g d'hydrogène sulfuré. L'équation (7-32) montre que 4,25 g de peroxyde d'hydrogène sont nécessaires pour oxyder 1 g de sulfure. Étant donné que les eaux usées ont aussi une demande chimique en oxygène, le peroxyde d'hydrogène réagit avec diverses substances oxydables. Par conséquent, on utilise généralement 4,25 à 8 g de peroxyde d'hydrogène pour chaque gramme de sulfure à oxyder.

Selon l'EPA, l'oxydation est rapide lorsque la concentration des sulfures est élevée, cependant elle devient plus lente au fur et à mesure que cette concentration s'amenuise.

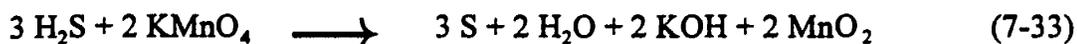


Les avantages de l'oxydation par le peroxyde d'hydrogène sont:

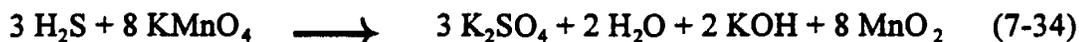
- les équipements nécessaires à l'entreposage et à l'injection du peroxyde d'hydrogène sont relativement simples et peu coûteux;
- le peroxyde d'hydrogène engendre des produits secondaires inoffensifs lorsqu'il oxyde d'autres substances contenues dans l'effluent traité;
- le peroxyde d'hydrogène contribue à maintenir les effluents aérobies.

b) Oxydation par le permanganate de potassium (KMnO_4)⁽¹⁶⁾

En milieu acide, l'oxydation des sulfures forme du soufre:



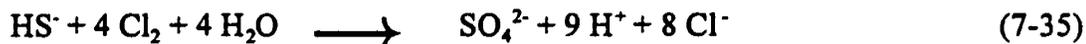
En milieu basique, les sulfures sont oxydés en sulfates:



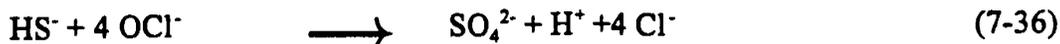
Donc selon l'équation (7-34), 1 gramme de sulfure d'hydrogène nécessite 12,4 g de permanganate de potassium. Bien que les équipements nécessaires au stockage et à l'injection du permanganate de potassium soient simples et faciles à installer, le coût d'achat de ce produit limite fréquemment son utilisation pour oxyder les sulfures.

c) Oxydation par le chlore⁽¹⁸⁾

Pour oxyder les sulfures on peut également utiliser le chlore ou l'hypochlorite de sodium. Le chlore (Cl_2) réagit ainsi:



L'utilisation de l'ion hypochlorite (OCl^-) donne les mêmes produits:



L'équation (7-35) montre qu'un gramme d'ions HS^- réagit avec 8,6 g de chlore alors que selon l'équation (7-36) un gramme de sulfure (HS^-) est oxydé par 6,24 g d'ions hypochlorites (OCl^-).

C'est bien connu que le chlore et l'ion hypochlorite réagissent très facilement avec les substances organiques oxydables contenues dans les effluents, il faut donc généralement augmenter d'autant les doses de chlore ou d'hypochlorite. Il n'est pas rare de devoir employer 10 à 15 grammes de chlore pour oxyder chaque gramme de sulfure.

Comme lors de la préchloration des eaux de surface en vue de préparer l'eau potable, au moment de l'injection des produits chlorés dans les eaux à traiter, la turbulence doit être importante pour obtenir une oxydation efficace.

Remarque:

Un effluent fortement chargé en sulfates peut, si les autres conditions sont réunies, être à l'origine de la formation de sulfures, spécialement en milieu anaérobie.

L'équation suivante résume la réaction:



Pour empêcher cette réaction et celles qui peuvent survenir ultérieurement: formation d'hydrogène sulfuré (H_2S) puis d'acide sulfurique, corrosion des égouts, etc., il suffit de disposer d'une concentration résiduelle en oxygène dissous de 1 mg/l. Ceci peut être fait en injectant de l'air, de l'oxygène ou du nitrate de sodium dans l'effluent. Il arrive que certaines municipalités aient à prévenir la formation de sulfures dans leurs égouts domestiques.



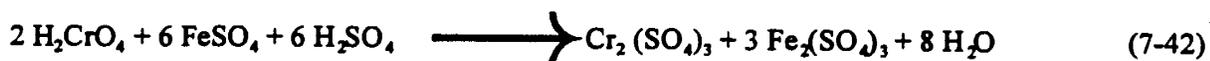
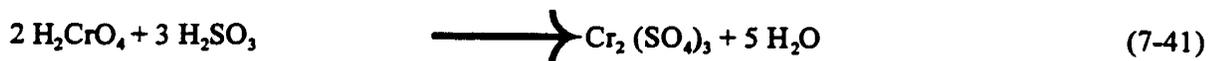
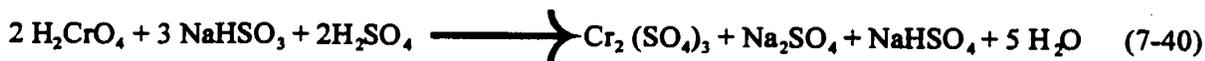
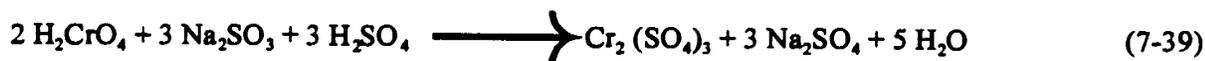
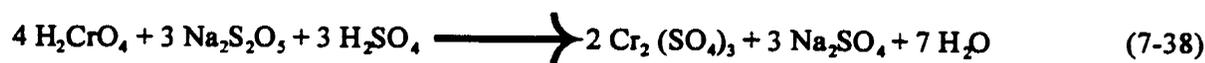
7.4.2.3 Réduction du chrome hexavalent^(7,18)

La plupart des procédés de chromatage requièrent l'utilisation du chrome sous sa forme hexavalente ($\text{Cr}_{(\text{VI})}$). Cependant, le chrome (VI) ne précipite pas lorsqu'on ajoute des hydroxydes comme le font les autres métaux toxiques. Pour que la précipitation du chrome se produise, il faut que le chrome (VI) soit réduit à la forme trivalente ($\text{Cr}_{(\text{III})}$). Par conséquent, avant de procéder au traitement physico-chimique des effluents d'une usine de placage, on doit s'assurer que le chrome qu'ils contiennent est à l'état d'oxydation +3.

Les produits énumérés ci-dessous peuvent être utilisés pour effectuer cette réduction:

- Le métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$), le sel le plus utilisé;
- le sulfite de sodium (Na_2SO_3);
- l'hydrogénosulfite de sodium (NaHSO_3);
- le dioxyde de soufre (SO_2), parfois appelé acide sulfureux (H_2SO_3) lorsqu'il est en solution aqueuse;
- le sulfate de fer (II) (FeSO_4).

Les réactions chimiques de chacun de ces produits avec le chrome (VI) aboutissent à la formation du sulfate de chrome (III), $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$:



Chacune de ces cinq équations montre que la réaction se déroule en milieu acide. Les réactions sont très rapides à des pH inférieurs à 3, cependant elles diminuent beaucoup lorsque le pH augmente au-delà de 3,5.

Les calculs stoechiométriques révèlent que pour réduire 1 g de chrome (VI) il faut:

- 2,74 g de métabisulfite de sodium et 1,41 g d'acide sulfurique;
- 3,63 g de sulfite de sodium et 2,83 g d'acide sulfurique;
- 3,0 g d'hydrogénosulfite de sodium et 1,89 g d'acide sulfurique;
- 1,85 g de dioxyde de soufre;
- 8,76 g de sulfate de fer (II) et 5,65 g d'acide sulfurique.

Pour s'assurer que la réduction soit aussi complète que possible, on ajoute un excès de réactifs de l'ordre de 15 à 20%. L'ajout des produits est contrôlé par des appareils équipés de sondes mesurant les potentiels d'oxydo-réduction, aussi désignés par le sigle ORP.

Dans la province de Québec, la réduction du chrome (VI) est réalisée le plus souvent en employant le métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$). On peut souligner que l'utilisation du sulfate de fer (II) introduit des quantités fort appréciables d'ions Fe^{2+} et Fe^{3+} qui augmentent beaucoup la quantité de boues métalliques lorsqu'on procède à l'ajustement du pH, jusqu'à 8,5, pour faire précipiter l'ion chromique (Cr^{3+}) et les autres métaux toxiques. Le coût d'élimination des boues augmente alors considérablement.

7.4.3 Traitement physico-chimique

7.4.3.1 Généralités

Le traitement physico-chimique des eaux usées industrielles est surtout utilisé pour précipiter les métaux toxiques (voir le paragraphe 7.4.3.2) et pour réduire la charge organique (voir le paragraphe 7.4.3.3), tout en éliminant divers autres polluants. Dans des cas plus rares, on y a recours pour réaliser la déphosphatation (voir le paragraphe 7.4.3.4).

En fait, le traitement physico-chimique commence par une coagulation suivie généralement d'une floculation. Il se termine soit par une décantation, soit par une flottation. Le cas échéant, l'effluent ainsi traité peut être filtré pour éliminer les matières en suspension fines.

DEGRÉMONT, dans le "Mémento technique de l'eau"⁽⁷⁾, définit ainsi la coagulation: "La coagulation est la déstabilisation des particules colloïdales par addition d'un réactif chimique, le coagulant". Le même document précise que: "La floculation est l'agglomération de ces particules "déchargées" en micro-floc, puis en flocons plus volumineux, le floc. Cette floculation peut être améliorée par l'ajout d'un autre réactif: le flocculant ou adjuvant de floculation".

Le but de la floculation est de déstabiliser les particules trop petites pour être séparées, les micro-particules ou les particules colloïdales, et de les agglomérer afin qu'elles deviennent assez grosses pour subir un des procédés physiques de séparation mentionnés ci-dessus.

Le coagulant est souvent mélangé vigoureusement avec les eaux à traiter alors que la floculation est réalisée dans un bassin où une agitation modérée vise à provoquer de faibles collisions pour agglutiner les particules en flocons sans les briser. Des polymères, aussi appelés polyélectrolytes, sont fréquemment ajoutés

en fin de la floculation pour former un floc plus grossier; ils entrent dans la catégorie des adjuvants de floculation.

Les substances les plus utilisées pour provoquer la coagulation sont des sels métalliques tels que le chlorure de fer (III), (FeCl_3) et le sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Pour faire précipiter les métaux toxiques, on utilise généralement des hydroxydes tels que l'hydroxyde de sodium (NaOH), l'hydroxyde de calcium ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) et l'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$).

7.4.3.2 Précipitation des métaux toxiques

Un des problèmes de pollution industrielle fréquent est, sans aucun doute, la présence des métaux toxiques (voir la section 4.2.8 du chapitre 4) en solution ou en suspension. Ces polluants peuvent provenir de plusieurs types d'industries, toutefois les usines de revêtement de surface sont souvent les plus concernées. Une grande proportion de ces entreprises font précipiter physico-chimiquement les métaux toxiques. La précipitation physico-chimique est répandue à un point tel qu'on la désigne par les expressions "traitement classique" et "traitement conventionnel".

La précipitation physico-chimique des métaux toxiques et leur élimination des effluents comprennent les étapes suivantes: l'ajustement du pH, la coagulation, la floculation, la décantation (ou la flottation) et le conditionnement des boues produites par ces traitements.

Il est important de noter que les eaux de procédé contenant des cyanures et celles contenant du chrome (VI) doivent être traitées séparément au préalable pour oxyder les cyanures ou pour réduire le chrome (VI) comme on l'a expliqué dans les paragraphes 7.4.2.1 et 7.4.2.3 respectivement.



L'ajustement du pH amène l'effluent à traiter au pH optimum qui se situe généralement entre 8,5 et 10,5 pour la grande majorité des métaux toxiques qu'on veut rendre insolubles. La figure 7-10 montre la solubilité des hydroxydes métalliques en fonction du pH⁽¹⁷⁾ et le tableau 7-8 fournit les produits de solubilité des principaux composés métalliques peu ou très peu solubles^(18, 19).

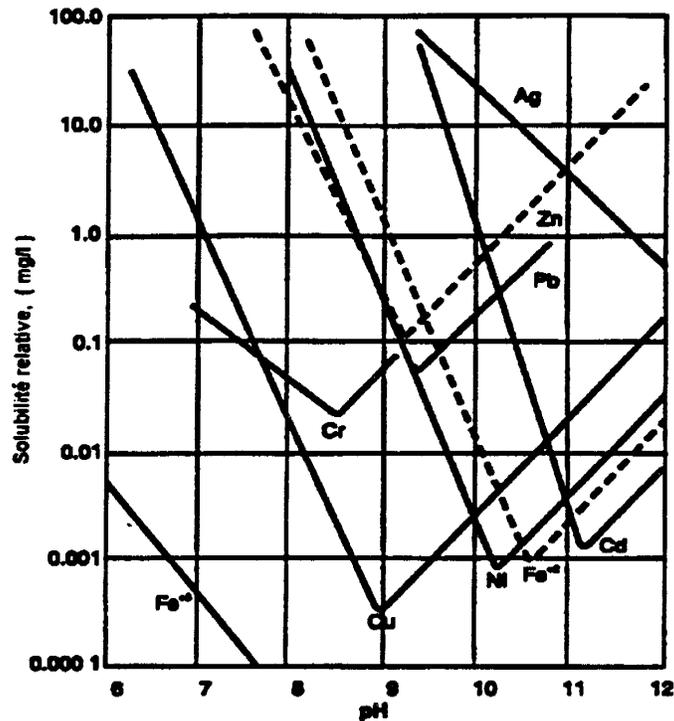


Figure 7-10: Solubilité des hydroxydes métalliques en fonction du pH

Les produits de solubilité des carbonates et des sulfures métalliques ont été incorporés au tableau 7-8 pour rappeler que dans des cas particuliers le recours au carbonate ou au sulfure de sodium peut être justifié pour éliminer un métal en solution⁽²⁰⁾. La figure 7-11 illustre la solubilité des sulfures métalliques en fonction du pH.

Les courbes de solubilité des hydroxydes métalliques doivent être utilisées avec un certain discernement parce que la présence d'ions parasites et d'additifs dans les bains de placage peut causer une synergie ou un antagoniste difficile à prévoir. Le guide technique sectoriel sur le traitement de surface explicitera les difficultés rencontrées lors de la précipitation des métaux toxiques.

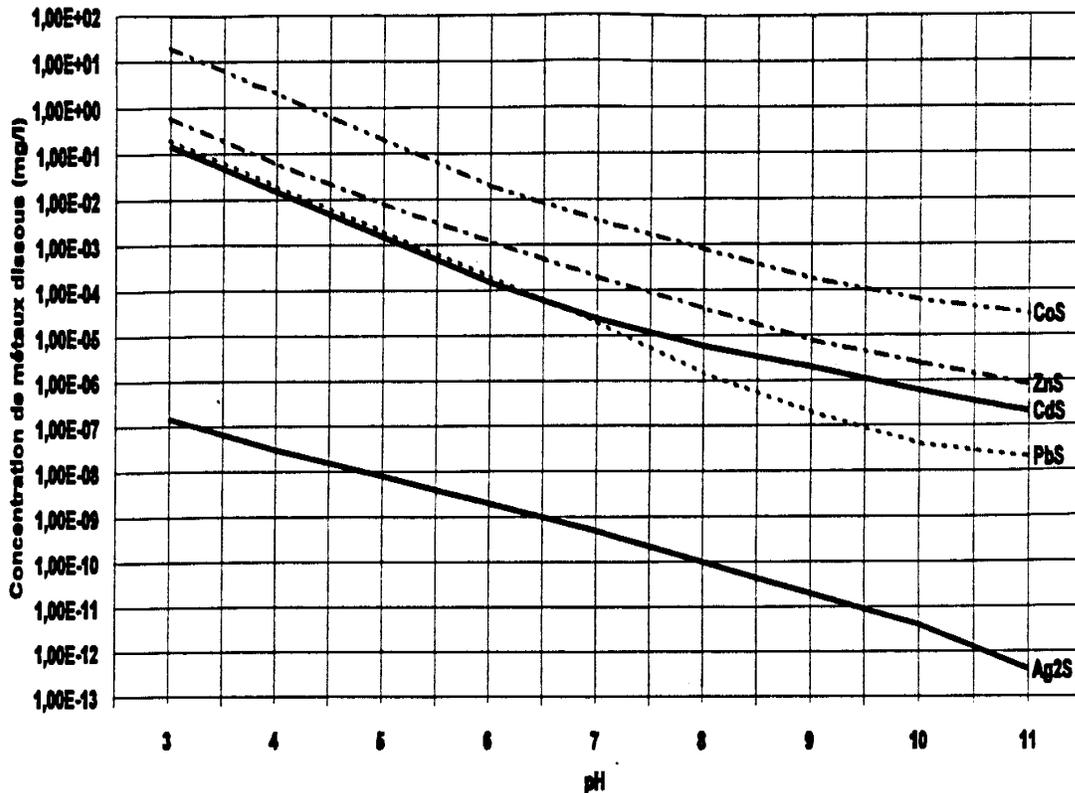


Figure 7-11: Courbes de solubilité des sulfures métalliques

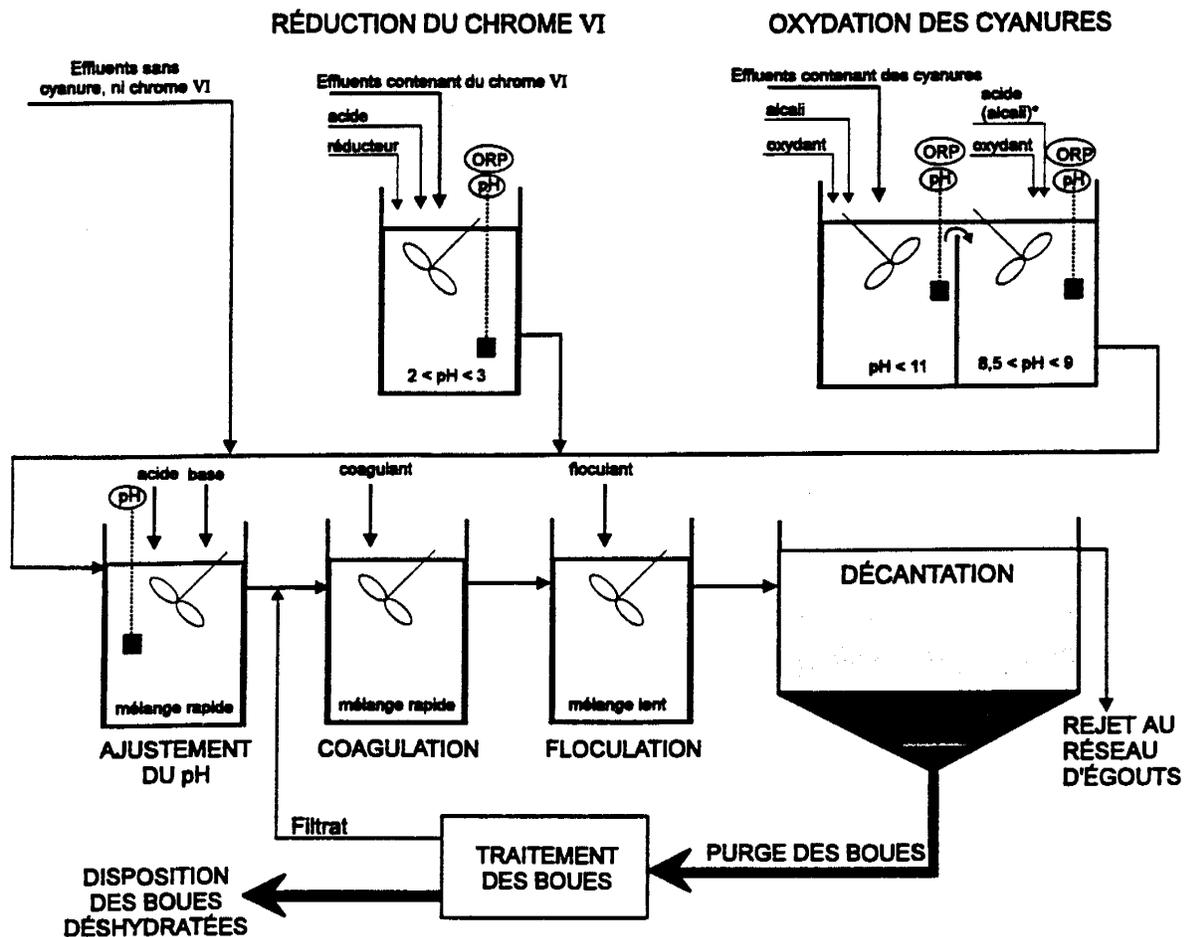
Les hydroxydes métalliques précipitent souvent sous la forme de particules trop petites pour décanter naturellement; on a recours aux coagulants et aux floculants pour les grossir. Ceci fait, on peut les séparer par décantation gravitationnelle. Celle-ci est faite soit dans un décanteur ordinaire, soit dans un décanteur lamellaire beaucoup moins encombrant. Le paragraphe 7.4.4 décrit ces types de décanteur. La précipitation des métaux toxiques produit donc des boues dont l'entreposage et l'élimination exigent qu'elles soient épaissies. De nombreuses usines utilisent des filtres-presses pour réaliser cet épaississement. Il faut souligner que, dans la plupart des cas, le filtrat du filtre-presse n'est pas conforme aux normes de rejet et qu'il est alors retourné dans le système de traitement, à l'étape de la coagulation ou de la floculation.

Tableau 7-8: Produits de solubilité des composés métalliques issus de métaux toxiques^(18, 19)

MÉTAUX	HYDROXYDES	CARBONATES	SULFURES
Aluminium	Al (OH) ₃ Kps = 5 x 10 ⁻³³	—	—
Argent	Ag OH Kps = 2 x 10 ⁻⁸	Ag ₂ CO ₃ Kps = 8,45 x 10 ⁻³²	Ag ₂ S Kps = 6,69 x 10 ⁻⁵⁰
Cadmium	Cd (OH) ₂ Kps = 5,27 x 10 ⁻¹⁵	CdCO ₃ Kps = 6,18 x 10 ⁻¹²	CdS Kps = 1,40 x 10 ⁻²⁹
Cuivre	Cu (OH) ₂ Kps = 2 x 10 ⁻¹⁹	CuCO ₃ Kps = 1 x 10 ⁻¹⁰	CuS Kps = 4 x 10 ⁻³⁸
Mercure	Hg (OH) ₂ Kps = 3,13 x 10 ⁻²⁶	Hg ₂ CO ₃ Kps = 3,67 x 10 ⁻¹⁷	HgS Kps = 6,44 x 10 ⁻⁵³
Nickel	Ni (OH) ₂ Kps = 5,47 x 10 ⁻¹⁶	NiCO ₃ Kps = 1,42 x 10 ⁻⁷	NiS Kps = 1 x 10 ⁻²¹
Plomb	Pb (OH) ₂ Kps = 1,42 x 10 ⁻²⁰	PbCO ₃ Kps = 1,46 x 10 ⁻¹³	PbS Kps = 9,04 x 10 ⁻²⁹
Zinc	Zn (OH) ₂ Kps = 6,86 x 10 ⁻¹⁷	ZnCO ₃ Kps = 1,19 x 10 ⁻¹⁰	ZnS Kps = 2,93 x 10 ⁻²⁵

— : non disponible ou ne s'applique pas

La figure 7-12 schématise un système de traitement souvent installé dans les usines de placage.



* Injection d'alcali en cas d'urgence seulement

** L'injection des produits coagulants et floculants peut être faite à différents endroits, dans les bassins ou dans les conduites

Figure 7-12: Schéma du prétraitement des eaux de procédé d'une usine de placage

7.4.3.3 Réduction de la charge organique

L'expression charge organique sous-entend l'ensemble des matières organiques en solution ou en suspension dans les eaux usées à épurer⁽⁷⁾. Cette pollution peut être éliminée par la mise en place de procédés physico-chimiques ou par celle de procédés biologiques.

Dans les paragraphes qui suivent, on discute uniquement des traitements physico-chimiques utilisés pour réduire substantiellement la charge organique des effluents industriels. Les traitements biologiques sont décrits au paragraphe 7.5.

Lorsque la charge organique est élevée, par exemple entre 2000 et 6000 mg DBO₅/l, un traitement physico-chimique s'avère avantageux parce qu'il permet de réduire la taille du traitement biologique subséquent, lequel est plus onéreux que le premier pour éliminer une même quantité de pollution. De plus, les équipements d'un traitement physico-chimique occupent un espace relativement restreint et la majorité des entreprises concernées peut donc les installer sans trop de difficultés.

La plupart des abattoirs, soit pour respecter l'entente municipalité-industrie, soit pour réduire la taille du réacteur biologique séquentiel subséquent, procèdent à la coagulation-floculation des polluants organiques dissous et en suspension, puis à leur flottation à l'air dissous. La caractérisation des eaux ainsi prétraitées révèlent que:

- la DBO₅ diminue de 60 à 70%;
- les MES diminuent de 75 à 85%;
- le P_t diminue de 60% environ;
- les H&G diminuent de 90 à 97%.

Il faut toutefois mentionner que ce genre de traitement présente quelques inconvénients. Parmi ceux-ci on peut citer d'une part l'introduction de cations (Fe (III) ou Al (III)) et d'anions (Cl⁻ ou SO₄²⁻) qui se retrouvent en grande partie dans l'effluent traité et acide, d'autre part la production de boues fermentescibles qui contiennent, outre une forte proportion de matières organiques, une partie des produits flocculants ajoutés aux eaux brutes. Le stockage et l'élimination de ces boues sont susceptibles d'avoir des répercussions négatives.

Le prétraitement physico-chimique des eaux usées des abattoirs, pour réduire la charge organique, est décrit dans le guide sectoriel sur les abattoirs. La problématique de la gestion des boues y est aussi abordée⁽²¹⁾.

7.4.3.4 Déphosphatation chimique

Comme on l'a mentionné dans le paragraphe 4.2.6 du chapitre 4, les phosphates sont présents dans de nombreuses eaux de procédé de plusieurs secteurs industriels: usines de production de produits chimiques, usines agro-alimentaires, usines de traitement de surface, etc. Étant donné que bon nombre de phosphates sont solubles et que les normes de rejet pour le phosphore total (P_T) sont: moins de 100 mg/l pour le déversement aux égouts municipaux domestiques et moins de 1 mg/l pour le rejet dans les cours d'eau, il n'est pas rare de rencontrer des cas où la déphosphatation doit être implantée.

On dispose de deux méthodes principales pour enlever les phosphates des eaux usées: la déphosphatation chimique^(7,21) et la déphosphatation biologique. Cette dernière est expliquée dans le paragraphe 7.5.1. Ci-après, on s'intéresse à la déphosphatation chimique uniquement.

Les ions phosphates, chargés négativement, se combinent aux ions aluminium, fer et calcium pour former des composés insolubles⁽⁷⁾. Selon le cation utilisé, la précipitation des phosphates se produit dans des plages de pH relativement spécifiques. Le tableau 7-9 précise les plages de pH les plus favorables et les principales réactions de précipitation pour chaque coagulant d'usage courant.

Le phosphate de fer (III) et le phosphate d'aluminium sont très peu solubles cependant ils précipitent à l'état colloïdal⁽⁷⁾. Leur floculation s'avère indispensable pour faciliter la décantation.



On peut mentionner que le prétraitement physico-chimique des effluents des abattoirs réalise une déphosphatation partielle, diminution de 60% environ du phosphore total, alors qu'une réduction appréciable de la charge organique est l'objectif recherché comme on l'explique dans le paragraphe 7.4.3.3.

**Tableau 7-9: Précipitation des phosphates:
plages de pH et équations chimiques**

PRODUITS UTILISÉS	PLAGE DE pH LA PLUS FAVORABLE	RÉACTION PRINCIPALE & RÉACTION SECONDAIRE
Sulfate de fer (III) (Fe ₂ (SO ₄) ₃) ou Chlorure de fer (III) (FeCl ₃)	4,5 à 5,5	$\text{Fe}^{3+} + \text{PO}_4^{3-} \rightarrow \text{FePO}_4(s)$ $\text{Fe}^{3+} + 3\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 \text{ (diminution de l'alcalinité)}$
Sulfate d'aluminium (Alun) (Al ₂ (SO ₄) ₃)	5,5 à 6,5	$\text{Al}^{3+} + \text{PO}_4^{3-} \rightarrow \text{AlPO}_4(s)$ $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 \text{ (diminution de l'alcalinité)}$
Sulfate de fer (II) (FeSO ₄)	7 à 8	$3\text{Fe}^{2+} + 2\text{PO}_4^{3-} \rightarrow \text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2(s)$
Hydroxyde de calcium (Chaux) (Ca(OH) ₂)	a) pH > 6 b) pH > 9	$\text{Ca}^{2+} + \text{HPO}_4^{2-} \rightarrow \text{Ca HPO}_4(s)$ <p style="text-align: center;">(monohydrogénophosphate de calcium)</p> $3\text{Ca}^{2+} + 2\text{HPO}_4^{2-} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(s) + 2\text{H}_2\text{O}$ $3\text{Ca}^{2+} + 2\text{PO}_4^{3-} \rightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(s)$ $3\text{HPO}_4^{2-} + 5\text{Ca}^{2+} + 4\text{OH}^- \rightarrow \text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3(s) + 3\text{H}_2\text{O}$

7.4.4 Décantation

On vient d'expliquer que la précipitation des métaux toxiques et la déphosphatation chimique sont basées sur les procédés de coagulation et de floculation. Ces réactions complétées, il faut séparer le floc de l'eau et, pour ce faire, la décantation est généralement la technique employée^(3, 7, 10, 12).

On commence par décrire la décantation à flux horizontal dans un bassin rectangulaire (paragraphe 7.4.4.1) et on complète par la décantation lamellaire (paragraphe 7.4.4.2).

7.4.4.1 Décantation à flux horizontal

La décantation, à l'instar du dessablage, utilise la force gravitationnelle pour effectuer la séparation liquide-solide. Le principal facteur qui gouverne l'efficacité du décanteur est le rapport entre la vitesse de décantation et la vitesse ascensionnelle. En effet, si la vitesse de décantation des particules est inférieure à la vitesse ascensionnelle de l'eau, elles seront toutes entraînées par l'eau à l'extérieur du décanteur. Les décanteurs sont donc conçus en divisant le débit maximal par la vitesse ascensionnelle maximale. Ceci donne la superficie requise; le volume est déterminé par la profondeur minimale désirée multipliée par la surface. Le temps de rétention correspond alors au volume divisé par le débit.

Pour connaître la vitesse de décantation, les informations de la littérature sont généralement insuffisantes. On doit recourir aux essais pilotes ou "Jar Tests"; ces tests sont faits individuellement dans des contenants de dimensions réduites, d'où leur nom. Ils permettent de déterminer les paramètres de décantation de même que les types et quantités de produits chimiques à ajouter pour améliorer la décantation. Leurs résultats indiquent en plus les conditions chimiques à respecter et les aides-floculants les plus efficaces. Les particules doivent avoir la densité et la grosseur nécessaires pour descendre suffisamment rapidement et s'accumuler



dans le fond du décanteur (voir la figure 7-13). Les conditions à respecter sont: un écoulement laminaire (on utilise le nombre de Reynolds, $N_{RE} \leq 1$ ou la valeur empirique de 0,3 m/s pour la vitesse d'écoulement, V_e) et un temps de décantation de la particule inférieur au temps de rétention hydraulique.

$$N_{RE} = \frac{\rho \times V_e \times D}{\mu}$$

où

- ρ = densité des particules;
- V_e = vitesse d'écoulement de l'eau (m/s);
- D = diamètre hydraulique équivalent (m);
- μ = viscosité cinématique de l'eau (m²/d).

On définit respectivement les paramètres suivants:

- t_d, t_e = temps de décantation et de rétention hydraulique (h);
- V_d, V_e = vitesses de décantation et d'écoulement (m/h);
- L, l, h = longueur, largeur et hauteur en m;
- A_d, A_e = surfaces de décantation et d'écoulement (m²);
- Q = débit de l'effluent (m³/h).

Ces paramètres sont interreliés ainsi:

$$t_d = \frac{h}{V_d}, \quad t_e = \frac{L}{V_e} \quad \text{et} \quad V_e = \frac{Q}{A_e} = \frac{Q}{l \times h}$$

Il est facile de comprendre que t_e doit être supérieur ou égal à t_d ($t_e \geq t_d$) et en utilisant les relations ci-dessus on obtient:

$$L = t_e \times V_e = \frac{t_e \times Q}{l \times h} \geq \frac{t_d \times Q}{l \times h}$$

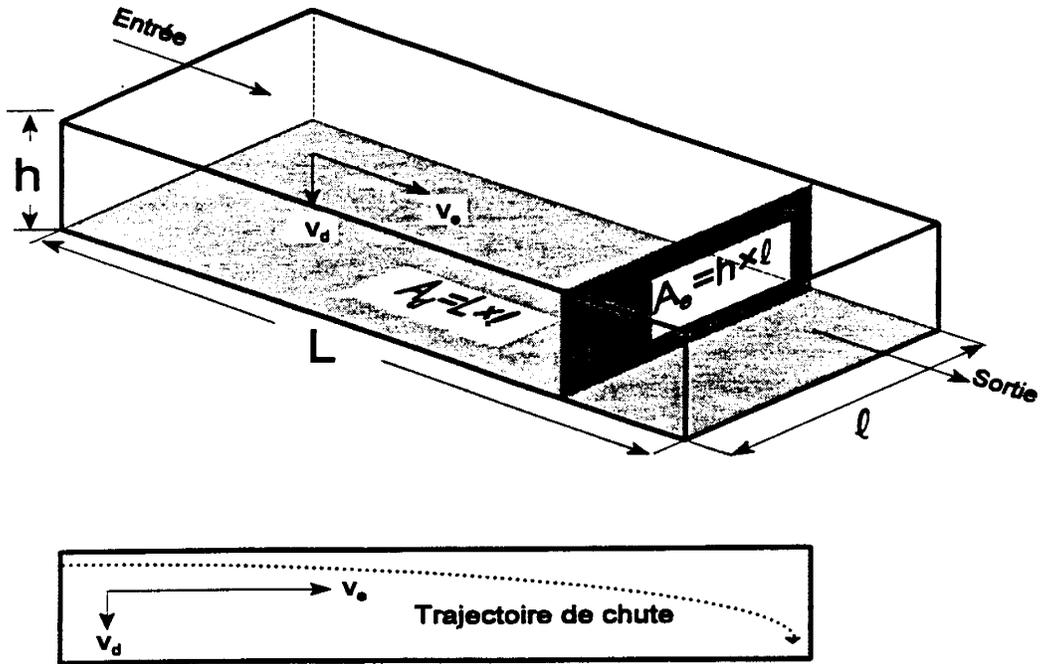


Figure 7-13: Décantation à flux horizontal

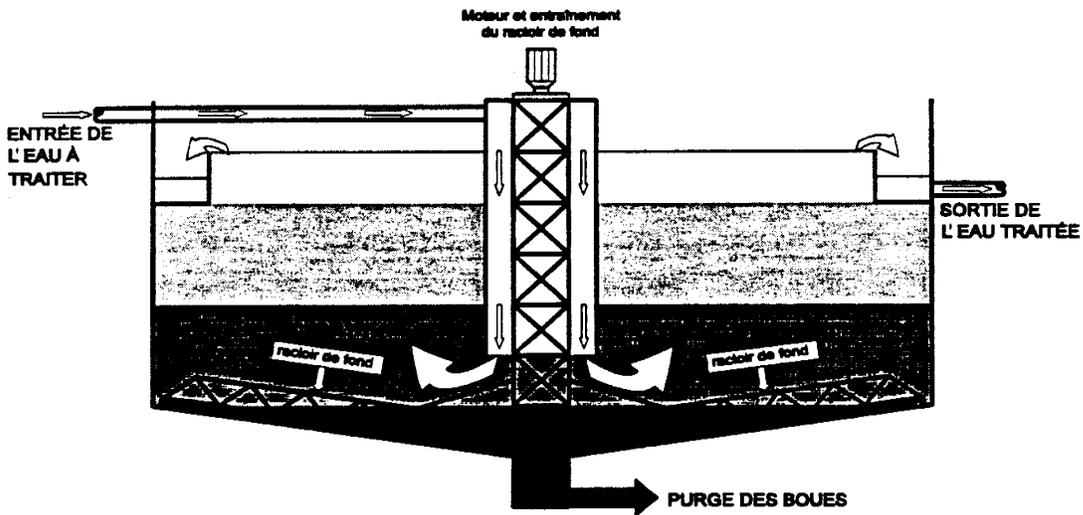


Figure 7-14: Décanteur circulaire

$$L \geq \frac{t_d \times Q}{l \times h} = \frac{Q \times h}{l \times h \times V_d} = \frac{Q}{l \times V_d}$$

$$V_d \geq \frac{Q}{l \times L} = \frac{Q}{A_d}$$

Le rapport $\frac{Q}{A}$, c'est-à-dire le débit horaire (en m³/h) divisé par la surface de décantation (en m²) est également appelé charge hydraulique superficielle. Ces calculs représentent une situation idéale (décanteur parfait, particules distinctes non-agglutinantes, etc.) qui se rencontre rarement dans la pratique. Il faut donc prévoir une marge de sécurité pour tenir compte des différents facteurs qui peuvent affecter la décantation, c'est-à-dire:

- l'écoulement non-laminaire;
- la chute freinée des particules;
- l'accumulation des solides.

a) l'écoulement non-laminaire:

Malgré le soin apporté à la conception d'un décanteur, l'écoulement des eaux peut être perturbé notamment dans les zones mortes et dans les zones turbulentes; c'est particulièrement le cas à l'entrée et à la sortie du décanteur. Ces zones réduisent la superficie effective de décantation. De plus, les particules peuvent être entraînées par le courant. On utilise les rapports suivants pour minimiser les effets du courant:

$$2 \leq \frac{L}{l} \leq 6, \quad 10 \leq \frac{L}{h} \leq 18 \quad \text{et} \quad V_c \leq 18 \times V_d$$

b) La chute freinée des particules:

Lors de la décantation, la concentration des particules augmente avec la profondeur; les particules interagissent les unes sur les autres et leur descente ralentit. Ce ralentissement est d'autant plus marqué que la concentration des matières à décanter est élevée.

La figure 7-15 illustre la chute freinée des particules et ce phénomène est observé lorsqu'on vérifie la qualité de la liqueur mixte des boues activées, en particulier son aptitude à décanter.

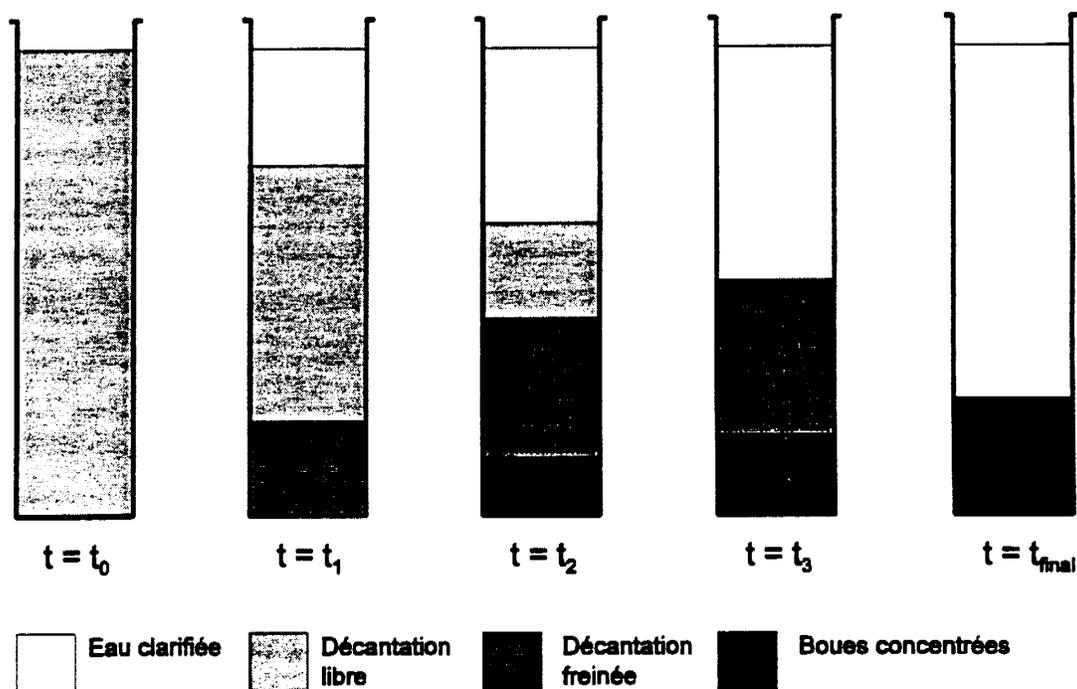


Figure 7-15: Décantation freinée

c) L'accumulation des solides:

La purge des solides décantés doit être faite régulièrement. Si celle-ci n'est pas assez fréquente, l'accumulation de solides peut perturber l'écoulement en diminuant la surface d'écoulement. On peut assister, dans les cas limites, à une remise en suspension des solides décantés puisque la vitesse d'écoulement peut augmenter d'autant.

7.4.4.2 Décantation lamellaire

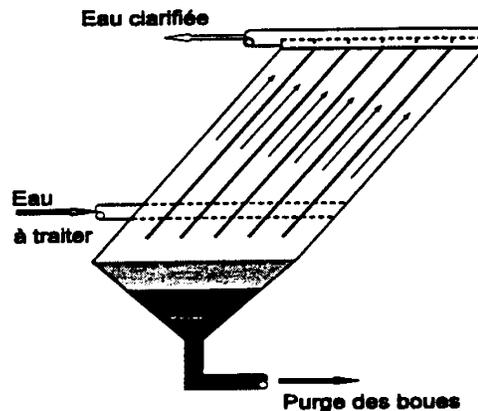
La décantation lamellaire constitue un cas particulier de la décantation. Les décanteurs lamellaires sont des réservoirs munis de parois ou de tubes inclinés, ce qui permet aux particules de décanter plus rapidement. La figure 7-16 montre le principe de la décantation lamellaire et une coupe de ce type de décanteur.

Comme la décantation dépend surtout de la surface de décantation, une façon simple d'augmenter la capacité d'un décanteur est d'utiliser plusieurs plateaux disposés les uns au-dessus des autres. Ceci a pour effet de multiplier la surface de décantation par le nombre d'étages (plateaux). Cependant, ces plateaux rendent le soutirage des boues plus difficile. Afin de pallier à ce problème, les surfaces de décantation sont inclinées, pour permettre aux particules décantées de glisser vers le fond conique du décanteur où elles s'accumulent. Le principe est similaire dans le cas des décanteurs à tubes.

Trois profils d'écoulement sont possibles pour la décantation lamellaire: l'écoulement à contre-courant, l'écoulement co-courant et l'écoulement à courants croisés, en observant l'écoulement des solides par rapport au déplacement de l'effluent. Le premier profil, illustré à la figure 7-17, est celui presque exclusivement employé au Québec. Les deux autres ne sont nommés qu'à titre d'information.

La décantation co-courant offre théoriquement de meilleures performances l'angle d'inclinaison peut être moins élevé, donc une surface de décantation par lamelle

plus grande mais, en pratique, le décanteur à contre-courant offre de meilleurs régimes hydrauliques de même que des coûts d'installation et d'opération moins élevés.



**Figure 7-16: Décanteur à lamelles
(écoulement à contre-courant)**

La réduction de la hauteur de décantation ou l'accroissement de la surface de décantation pour un même volume de décanteur a constitué l'idée directrice lors de la mise au point des décanteurs lamellaires. La décantation est limitée à la hauteur de chute pour rencontrer la paroi inclinée, ensuite les particules glissent jusqu'au bas du décanteur où elles s'accumulent en attendant leur évacuation^(23, 24, 25).

Un phénomène particulier peut survenir lors de cette décantation: une concentration relativement élevée de particules peut causer une restriction non-négligeable au bas de la surface de décantation et diminuer la section d'écoulement. Cette dernière doit être conçue de façon à prévenir l'apparition de ce phénomène.

La dynamique de la décantation lamellaire est régie par les équations suivantes:

$$V_e \leq V_d \left(\frac{L}{e} \cos\theta + \sin\theta \right)$$

$$\text{et} \quad V_e = \frac{Q}{n \times l \times e}$$

- où: V_e = vitesse d'écoulement moyenne entre 2 plaques;
 V_d = vitesse de décantation (verticale);
 L = longueur des plaques;
 e = distance entre 2 plaques;
 θ = angle d'inclinaison des plaques (par rapport à l'horizontale);
 Q = débit;
 n = nombre de plaques;
 l = largeur des plaques.

Pour le nombre de Reynolds, D est défini ici comme étant:

$$D = \frac{2le}{(l+e)} - 2e$$

Degrémont⁽⁷⁾ mentionne que l'efficacité des décanteurs à tubes est supérieure à celle des décanteurs à lamelles, de l'ordre de 30%.

Il est entendu que ces équations décrivent une situation idéale qui peut être perturbée par différents facteurs prévisibles mais difficiles à quantifier: l'équidistribution du fluide dans les cellules, les dépôts de matières décantées sur les plaques réduisant la surface d'écoulement, le profil d'écoulement dans les cellules, etc. Un essai-pilote, lorsque possible, est toujours souhaitable.

7.4.5 Flottation

À ce point du traitement des eaux usées, on ne revient pas sur la séparation naturelle des huiles et graisses dans les intercepteurs statiques qui a été décrite aux paragraphes 7.3.4.2 et 7.3.4.3. On vise plutôt à expliquer la flottation forcée

de diverses substances légèrement moins denses que l'eau qui est notamment réalisée par la technique de la flottation à l'air dissous.

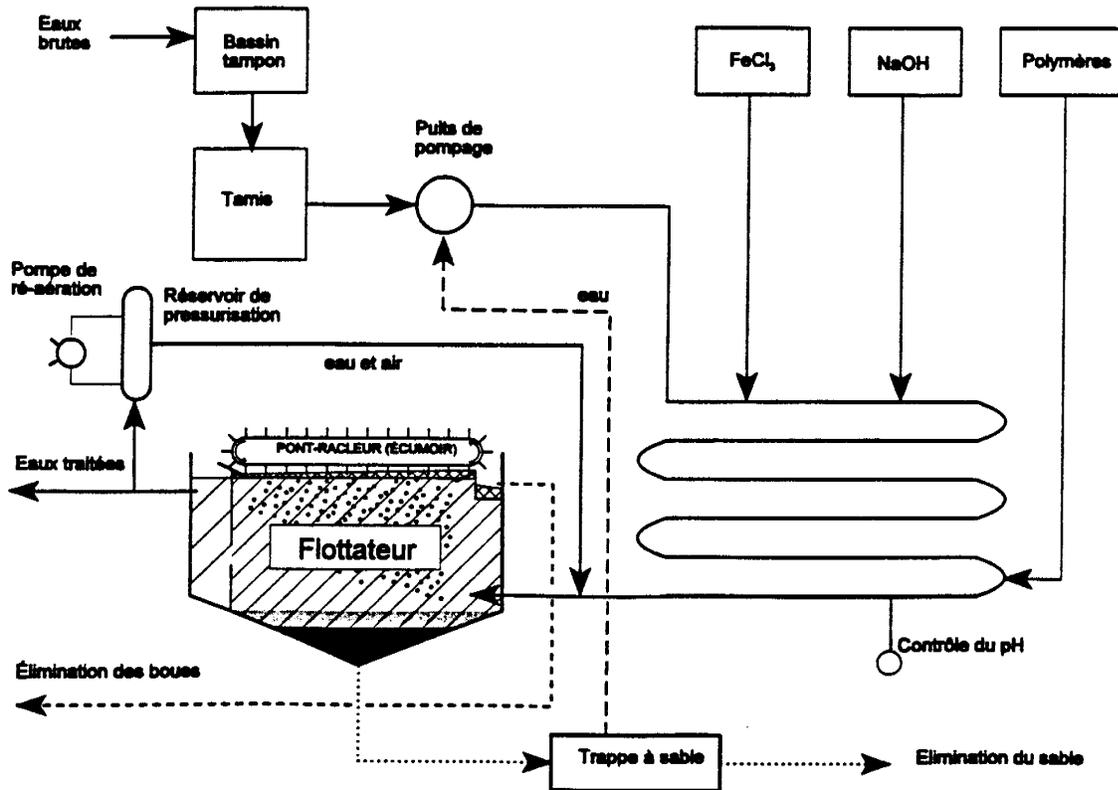
En effet, dans certains cas, il est plus facile de faire flotter le floc formé pendant la coagulation et la floculation au lieu de le faire décanter. Pour accélérer sa remontée, on tente d'y faire adhérer des bulles d'air afin de diminuer la densité des particules^(26, 27).

On a avantage à créer des bulles de grosseur uniforme et plusieurs techniques, décrites sommairement ci-après, peuvent être utilisées pour les produire, notamment:

- la flottation à l'air dissous;
- la flottation à l'air injecté;
- la flottation sous vide;
- l'électro-flottation;
- la flottation biologique.

a) Flottation à l'air dissous^(26, 28-30):

L'air est injecté sous pression ou aspiré dans l'affluent du flottateur, en tout ou en partie, ou dans une partie de l'effluent que l'on recircule. L'air en solution redevient gazeux et forme des microbulles dans le flottateur. La figure 7-17 illustre l'utilisation de cette technique pour prétraiter des eaux usées industrielles, notamment celles des abattoirs.



**Figure 7-17: Flottateur à l'air dissous
(pressurisation partielle de l'effluent recirculé)**

b) Flottation à l'air injecté⁽²⁶⁾:

L'air est injecté sous pression dans le flottateur à l'aide d'un mécanisme de distribution. La grosseur des orifices de ce mécanisme détermine la taille des bulles.

c) Flottation sous vide:

L'affluent du flottateur est saturé d'air. Le flottateur est mis sous vide ce qui a pour effet de permettre à l'air de redevenir gazeux, comme dans le premier cas ci-dessus.

d) Electro-flottation⁽²⁶⁾:

Cette technique fait intervenir l'électricité dans la décomposition de l'eau. Peu de documentation a été trouvée sur ce sujet. Cependant, il semble que deux méthodes (ou plus) existent pour la production de bulles. La première est la décomposition de l'eau en ses deux éléments: l'oxygène et l'hydrogène. La seconde est la production d'hydrogène à la cathode et la dissolution d'un métal sacrificiel à l'anode. Cette méthode présente l'avantage de produire un cation métallique pouvant agir comme coagulant. Récemment, la revue "Environmental Engineering World" (Janvier - février 1995, pp. 34-35) a vanté les mérites de cette méthode laquelle pourrait abaisser la concentration en huiles et graisses au-dessous de 10 mg/l.

e) Flottation biologique⁽²⁶⁾:

Les bulles de gaz sont formées par l'activité des microorganismes: production de dioxyde de carbone et d'azote notamment pendant la dénitrification.

À toute fin pratique, seules les deux premières méthodes sont utilisées au Québec et la première, la flottation à l'air dissous, est la plus recommandée, car la taille des bulles est homogène et de dimensions adéquates (20 à 80 µm) pour permettre à la fois un contact avec le floc et une bonne vitesse ascensionnelle. De plus, cette technique favorise une distribution uniforme des bulles dans le flottateur.

Trois schémas d'écoulement sont possibles pour la flottation à l'air dissous:

- pressurisation totale de l'affluent du flottateur;
- pressurisation partielle de l'affluent du flottateur;
- pressurisation partielle de l'effluent recirculé.



a) **Pressurisation totale de l'affluent du flottateur:**

L'affluent après la floculation, est soumis à l'injection d'air sous pression. On détend ensuite cet affluent dans le flottateur afin de produire les microbulles.

b) **Pressurisation partielle de l'affluent du flottateur:**

L'affluent, après la floculation, est dirigé vers le flottateur, cependant une partie est déviée vers un réservoir de pressurisation où l'air sous pression est injecté. Cette partie est par la suite réintroduite dans le flottateur simultanément au reste du débit.

c) **Pressurisation partielle de l'effluent recirculé:**

Une partie de l'effluent est déviée vers un réservoir de pressurisation où l'air est injecté, comme le montre la figure 7-17. Cette partie est recirculée dans le flottateur, simultanément avec l'affluent. Une variante permet l'aspiration d'air dans la conduite en amont du réservoir de pressurisation.

Pour un effluent d'origine industrielle traité par floculation, la troisième option est la meilleure. En effet, la détente de pression exerce une grande contrainte sur les floccs. En injectant l'air et en détendant une partie de l'effluent recirculé, les floccs ne sont pas impliqués dans le processus.

On utilise le rapport débit d'air/quantité de matières à flotter pour déterminer les performances de la flottation réalisée selon l'un ou l'autre de ces schémas d'écoulement. Le tableau 7-10 indique les formules à employer pour établir ce rapport⁽²⁸⁾.

Tableau 7-10: Rapport A/S selon les schémas d'écoulement

SCHÉMAS D'ÉCOULEMENT	DÉBIT D'AIR QUANTITÉS DE MATIÈRES À FLOTTER	SIGNIFICATION DES ÉLÉMENTS DU RAPPORT A/S
Pour une pressurisation de l'affluent total	$\frac{A}{S} = \frac{1,3 a (FP-1)}{X}$	A = Débit d'air massique (mg/s) S = Débit massique des solides (mg/s) 1,3 = Densité de l'air (mg/ml) a = Solubilité de l'air dans l'eau (ml/l)
Pour une pressurisation d'une partie de l'affluent	$\frac{A}{S} = \frac{1,3 a Q_p (FP-1)}{QX}$	F = Facteur de solubilité de l'air (0,5 à 0,9) P = Pression de pressurisation (absolue, atm.) X = Concentration des solides (mg/l) R = Taux de recirculation
Pour une pressurisation d'une partie de l'effluent recirculé	$\frac{A}{S} = \frac{1,3 aR (FP-1)}{X}$	Q = Débit de l'affluent (l/s) Q _p = Débit de l'affluent pressurisé (l/s)

La pressurisation est faite entre 200 et 500 kPa, généralement 350 kPa. La pression dépend de la nature de l'effluent à traiter et du floculant utilisé. Le rapport A/S est généralement compris entre 0,01 et 0,1. Le temps de rétention peut varier de 3 à 60 min et la charge superficielle peut être estimée par la même procédure que celle décrite au paragraphe 7.4.4.1. On peut également avoir recours aux essais de laboratoire afin de déterminer les paramètres de conception.

7.4.6 Filtration sur membrane

Les prétraitements décrits précédemment peuvent être avantageusement remplacés par la technique de filtration sur membrane notamment lorsqu'un liquide ou un contaminant peut être récupéré et recyclé. On peut également y recourir lorsqu'une substance ne peut être séparée facilement d'un effluent.

La filtration sur membrane est utilisée couramment pour extraire certaines substances contenues dans les saumures, les eaux de cuisson, le lactosérum et



même le lait⁽³¹⁾. Elle est aussi utile pour récupérer des hydrocarbures, des huiles émulsifiées, des peintures, etc, dans diverses eaux de procédé.

Contrairement au tamisage et à la filtration frontale ou classique, la filtration à l'aide d'une membrane est obtenue en faisant circuler sous pression le liquide à traiter parallèlement à une membrane filtrante. Ce procédé sépare l'affluent en deux parties: le concentré qui, comme le mot l'indique, est constitué des matières qu'on cherche à extraire de l'eau et le perméat c'est-à-dire la solution diluée surtout de l'eau qui traverse la membrane^(32, 33). La figure 7-18 illustre l'écoulement pendant la filtration sur membrane.

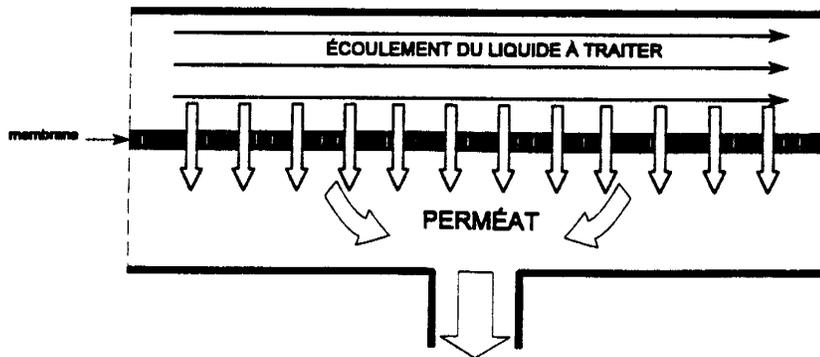


Figure 7-18: Filtration sur membrane

Dans le traitement des eaux, on utilise quatre procédés de filtration sur membrane: la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration et l'osmose inverse (OI)⁽³⁴⁻³⁸⁾. À titre indicatif, le tableau 7-11 montre les dimensions des particules retenues par chacun d'eux et les gradients de pression utilisés.

Tableau 7-11: Dimensions des particules retenues et gradients de pression utilisés en filtration sur membrane

TYPES DE FILTRATION	DIMENSIONS DES PARTICULES RETENUES	GRADIENTS DE PRESSION (x 10 ⁵ Pa)
microfiltration	≈ 0,05 à 50 µm	≈ 0,1 à 10
ultrafiltration	≈ 1 à 100 nm	≈ 1 à 15
nanofiltration	≈ 0,8 à 9nm	≈ 10
osmose inverse	≈ 0,1 à 6 nm	≈ 5 à 100

Note: Ces chiffres ne sont que des ordres de grandeur.

On constate donc, selon les dimensions des particules retenues, que les quatre procédés de filtration sur membrane sont utilisables pour des fins différentes. La MF peut servir à retenir des microorganismes, notamment des bactéries et des particules de l'ordre du micromètre. L'UF sert à retenir les microorganismes tels que les virus et les macromolécules, par exemple les protéines. L'OI vise la rétention de molécules de plus petites tailles telles que celles des hydrocarbures, du lactose et autres sucroses ainsi que la rétention d'ions. Le lecteur peut se reporter à la figure 4-3 pour comparer les dimensions relatives de certains constituants des eaux usées.

Toutefois, il faut préciser que la rétention des particules n'est pas conditionnée seulement par leur dimension. En fait, la séparation est également influencée par le matériau qui compose la membrane. On parle respectivement de séparation stérique et de séparation par affinité. Le dernier mode de séparation dépend des natures respectives de la membrane et des particules à séparer. Il peut y avoir des répulsions préférentielles, c'est-à-dire rétention de la particule ou au contraire des attractions préférentielles. Dans ce dernier cas, la particule, malgré son encombrement stérique, parvient à traverser la membrane. Donc, pour réaliser la séparation recherchée par UF ou OI, il faut choisir une membrane constituée d'un matériau approprié et ayant une structure poreuse appropriée⁽³²⁾.



Le tableau 7-11 montre que les pressions requises dépendent du type de filtration envisagé. Elles dépendent également du débit à traiter et de la pression osmotique.

Comme on peut le voir sur la figure 7-19, schéma supérieur, la pression osmotique correspond à la dénivellation (h) qui s'établit dans les branches d'un tube en U dans lequel sont placées deux solutions de concentrations différentes séparées par une membrane semi-perméable; le solvant de la solution la moins concentrée traverse cette membrane pour diluer la solution la plus concentrée.

En appliquant une pression P_1 , égale à la pression osmotique, sur le liquide dans la branche gauche du tube en U (figure 7-19), les liquides dans les deux branches sont au même niveau. Lorsqu'on exerce une pression supérieure à la pression osmotique $P_2 = P_1 + H$, le flux du solvant se trouve inversé c'est-à-dire que le solvant de la solution la plus concentrée traverse la membrane pour diluer la moins concentrée, comme le montre le schéma inférieur de la figure 7-19. C'est ce principe qui s'applique lorsqu'on parle de soumettre un effluent industriel à l'ultrafiltration ou à l'osmose inverse.

Les performances des systèmes d'ultrafiltration et d'osmose inverse sont évaluées selon leur taux de séparation et leur débit de perméation. Pour une membrane et un effluent donnés, le taux de séparation et le débit de perméation observés dépendent des conditions d'opération notamment la température, la pression, le débit et la concentration. En fait, la pression, le débit et la concentration varient tout au long du système à écoulement tangentiel, puisqu'un gradient de pression osmotique se bâtit progressivement au fur et à mesure que la concentration des contaminants augmente à la surface de la membrane. Petit à petit, le taux de séparation et de débit de perméation diminuent et on doit donc nettoyer régulièrement le système de filtration sur membrane⁽³²⁾.

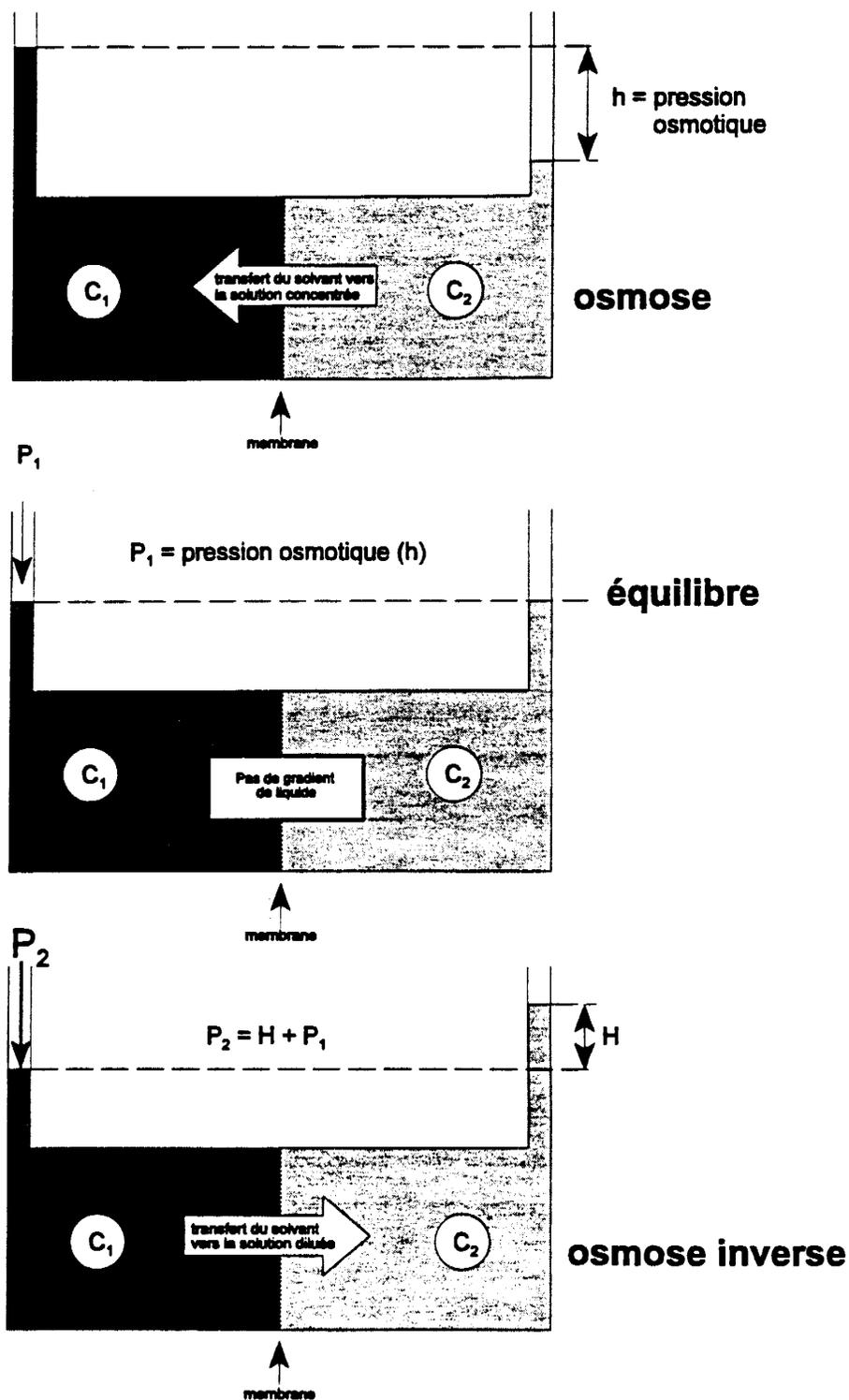


Figure 7-19: Schémas des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse

Les membranes peuvent être constituées de matériaux polymérisés ou de matériaux inorganiques. Les matériaux polymérisés les plus fréquemment utilisés sont: les polymères cellulosiques, les polysulfones et les polyamides. Les matériaux inorganiques peuvent être à base d'alumine ou d'oxyde de zirconium.

Les systèmes de filtration sur membrane sont composés de modules dans lesquels on distingue quatre types d'arrangement⁽³²⁾:

- les modules à plaques (membranes planes);
- les modules à tubes (membranes cylindriques);
- les modules à fibres creuses (membranes cylindriques);
- les modules spiralés (membranes planes).

a) Modules à plaques:

Les membranes sont étendues sur des porte-membranes qui sont empilés les uns sur les autres, l'arrangement est similaire à celui d'un filtre-pressé. Ce type d'installation permet de nettoyer et de changer aisément les membranes.

b) Modules à tubes:

Les membranes, de forme tubulaire, sont disposées côte à côte à l'intérieur d'une calandre comme dans un échangeur à chaleur tube-calandre. On peut avoir un écoulement de la solution à épurer à l'intérieur des tubes ou à l'extérieur de ceux-ci.

c) Modules à fibres creuses:

La situation est similaire à la précédente, mais le diamètre des tubes est sensiblement plus petit. Les risques de colmatage sont donc plus élevés.

Le liquide à traiter ne devra pas contenir de particules pouvant boucher ces tubes.

d) Modules spiralés:

Ces modules sont constitués de membranes planes enroulées. La tranche forme donc une spirale. Entre les couches de membranes, on doit insérer une couche d'espacement pour permettre une meilleure circulation du fluide. Ce type de membrane offre généralement un meilleur rapport surface/volume d'appareil que les modules à plaques mais l'écoulement étant plus tortueux, les problèmes d'écoulement sont plus fréquents.

7.4.7 Filtration sur charbon actif

Bien que ce phénomène ait été étudié depuis un demi-siècle en Amérique du Nord, il n'est appliqué au traitement des eaux usées que depuis une trentaine d'années. Même si on parle de filtration, il s'agit en fait d'une adsorption des contaminants par le charbon.

Le charbon actif se présente généralement sous deux formes: le charbon actif en poudre (CAP) et le charbon actif en grains (CAG). Le premier, dont la dimension des particules est comprise entre 10 et 50 μm , est mélangé à l'effluent; il adsorbe alors les contaminants pour ensuite être séparé du liquide par décantation ou par filtration. S'il est plus flexible d'utilisation, son grand défaut est qu'il ne peut être régénéré. On ne peut donc pas le réutiliser et les coûts encourus ne sont pas récupérables.

Le second, le CAG, avec des particules de dimensions plus élevées et généralement comprises entre 0,25 et 3 mm, est disposé en lits fixes à travers duquel on fait circuler le liquide à traiter. C'est sous cette dernière forme qu'on utilise le charbon actif le plus souvent.



Le charbon actif peut adsorber une grande quantité de contaminants, cependant les molécules polaires sont moins bien adsorbées que les molécules neutres. De plus, les molécules les plus grosses sont également mieux adsorbées. Pour cette raison, ce type de traitement est employé lorsque les effluents contiennent des molécules organiques.

On définit les filtres au charbon actif par les paramètres suivants^(3, 39):

- le temps de contact à vide;
- le front d'adsorption;
- le temps de percée;
- le temps de saturation.

a) Temps de contact à vide:

Ce paramètre est similaire au temps de résidence hydraulique; il est calculé en divisant le volume utile du filtre par le débit.

b) Front d'adsorption:

Il est défini comme étant la portion du filtre où s'effectue l'adsorption, c'est-à-dire la portion du filtre entre le point où la concentration est initiale et le point où la concentration est finale. Ce front progresse dans le temps au fur et à mesure que le charbon adsorbe le contaminant. La figure 7-20 illustre la progression du front d'adsorption en fonction du temps.

c) Temps de percée:

Le temps écoulé lorsqu'on observe l'apparition ou l'augmentation de la concentration du contaminant à la sortie.

d) Temps de saturation:

Le temps écoulé lorsque la concentration à la sortie est la même qu'à l'entrée.

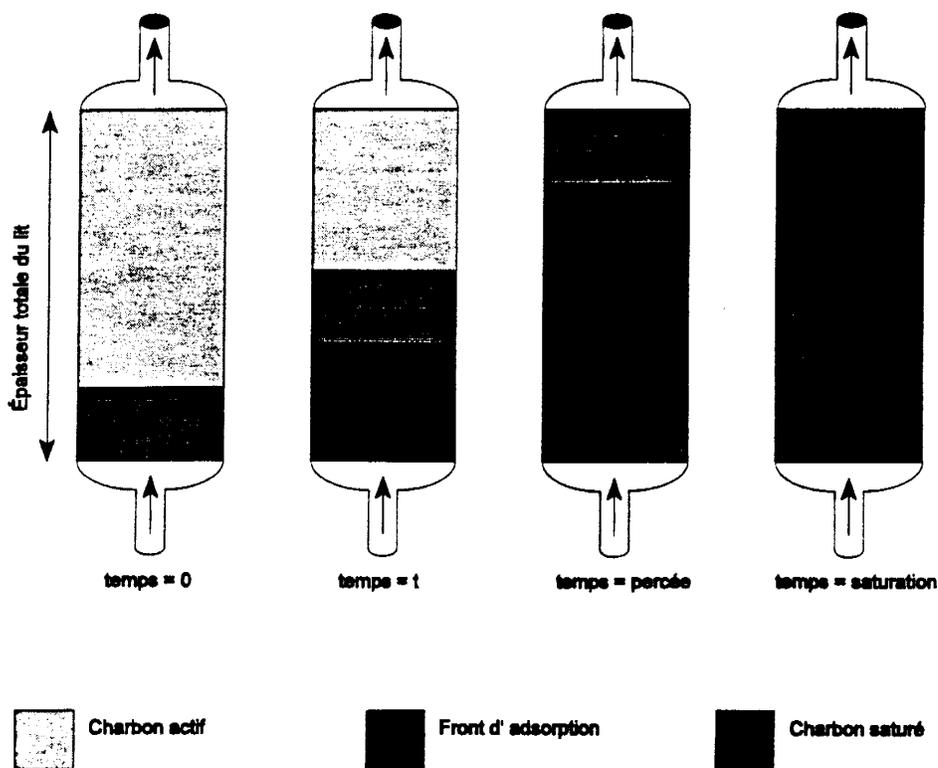


Figure 7-20: Évolution d'un filtre au charbon actif en fonction du temps

On peut calculer la longueur du front d'adsorption par la formule suivante⁽³⁾:

$$L_F = \frac{L_c (t_s - t_p)}{t_s}$$

- où: L_F = longueur du front d'adsorption en mètres;
 L_c = longueur de la colonne en mètres;
 t_s = temps de saturation en secondes;
 t_p = temps de percée en secondes.

La capacité d'adsorption de la colonne est inversement proportionnelle à la longueur du front d'adsorption. De plus, ce dernier est proportionnel à la granulométrie du charbon, mais des problèmes hydrauliques peuvent survenir si la taille des grains est trop petite.

Les caractéristiques d'adsorption sont évaluées par des tests statiques individuels et modélisés à l'aide d'isothermes d'adsorption, ainsi nommés puisque les caractéristiques changent avec la température. Trois modèles sont proposés:

- l'isotherme de Freundlich;
- l'isotherme de Langmuir;
- l'isotherme de BET.

a) Isotherme de Freundlich:

$$\frac{X}{M} = k\sqrt[n]{C}$$

- où: $\frac{X}{M}$ = quantité de substance adsorbée par unité de masse de charbon en mg/g;
- C = concentration du contaminant à l'équilibre en mg/l;
- k, n = constantes empiriques.

b) Isotherme de Langmuir:

$$\frac{X}{M} = \frac{abC}{1 + bC}$$

- où: a et b = constantes
- $\frac{X}{M}$ et C ont les mêmes significations que pour l'isotherme de Freundlich.

c) Isotherme de BET (Brunauer-Emmett-Teller)

$$\frac{X/M}{(X/M)_{\max}} = \frac{bC}{(C_s - C) \left[1 + (b - 1) \frac{C}{C_s} \right]}$$

- où: C = concentration du contaminant à l'équilibre en mg/l;
- C_s = concentration de saturation du contaminant (selon la constante de saturation du contaminant) en mg/l;
- (X/M)_{max} = valeur maximale atteinte de X/M lorsque C est grand par rapport au "a" du modèle de Langmuir;
- b,c = constantes.

Les isothermes d'adsorption sont des outils intéressants pour évaluer les performances du charbon actif. Ils aident à déterminer les caractéristiques de base des systèmes d'adsorption, notamment la faisabilité, le type de charbon, le pH, la température, etc., mais des essais en mini-colonnes ou en pilotes sont beaucoup plus précis et plus utiles afin de déterminer les conditions hydrauliques de l'installation.

Les arrangements des filtres sont variés: on peut les disposer en série, en parallèle ou en lits fluidisés; ce dernier cas est avantageux lorsqu'on veut induire une activité biologique. On installe au moins deux unités, pour pouvoir nettoyer un filtre sans arrêter le traitement. Un exemple typique d'arrangement de filtres est montré à la figure 7-21, le troisième module est en phase de régénération pendant que les deux premiers effectuent le traitement de l'effluent.

Lorsque le filtre 1 devient saturé, il est coupé du circuit et le lit de charbon activé est régénéré. Le lit 2 devient le premier et le lit 3 est relié à la sortie du filtre 2.



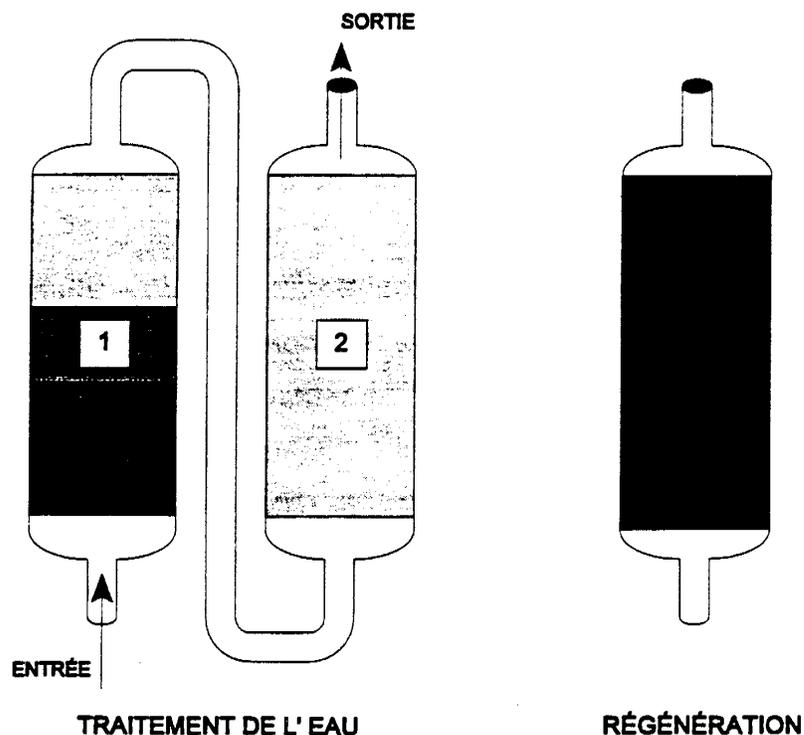


Figure 7-21: Batterie de filtres au charbon actif

Le filtre 1, une fois régénéré, est mis en attente pour le prochain cycle. On retrouve ainsi toujours deux filtres en activité, le troisième étant régénéré pour être ensuite mis en attente. En fait, on peut utiliser plusieurs filtres (3 ou 4) en série selon le degré de sécurité requis et des variations de charge de l'effluent.

Comme on le voit à la figure 7-21, le front d'adsorption passe au travers du premier filtre et ensuite atteint le second. Celui-ci agit également en cas d'un surdosage subit qui ferait en sorte que le front d'adsorption traverse rapidement le premier filtre. On a toujours ainsi une marge de sécurité, que ce soit pendant la régénération du troisième filtre ou pendant l'entretien d'un des filtres.

La désorption du contaminant doit être surveillée, notamment lorsque l'adsorption d'une autre composante de l'effluent ayant une affinité supérieure pour le charbon

est susceptible de se produire. Ce phénomène peut même causer une concentration du contaminant plus élevée à la sortie du filtre qu'à l'entrée.

À titre d'exemple, on considère un effluent industriel contenant les contaminants α et β . On envisage le cas où α est mieux adsorbé par le charbon que β . Selon cette hypothèse lors du passage de l'effluent à travers le premier filtre, α est adsorbé en premier et β l'est ensuite. Mais, au fur et à mesure que le front avance, α déloge β dans les sites d'adsorption jusqu'à ce que le front sorte du lit, la substance α continue à déloger la substance β qui s'ajoute à la quantité initiale de cette même substance dans l'effluent; il en résulte une concentration plus élevée de β à la sortie qu'à l'entrée puisque le charbon actif libère la quantité de contaminant précédemment retenue. Cette situation, prévisible, nécessite donc un suivi rigoureux.

7.4.8 Résines échangeuses d'ions

7.4.8.1 Généralités

La précipitation physico-chimique des ions métalliques s'avère coûteuse puisqu'il faut acheter plusieurs produits chimiques pour la réaliser et payer ensuite le coût de l'élimination des boues formées. De plus, ce traitement a une efficacité limitée. Par conséquent, il est conseillé de vérifier si d'autres techniques de traitement ne pourraient pas se révéler plus avantageuses. Parmi celles-ci, on doit signaler les échanges d'ions.

Ce procédé, fréquemment utilisé pour adoucir les eaux souterraines et déminéraliser l'eau potable, est susceptible d'être intéressant pour épurer certains effluents industriels. Cependant, cette technique exige une surveillance rigoureuse et plusieurs acheteurs potentiels peuvent être découragés par le coût des équipements.



Certaines entreprises qui procèdent au revêtement de surface, ont installé des résines échangeuses d'ions, notamment pour récupérer le cuivre et le nickel, ou pour régénérer l'acide chlorhydrique et l'acide chromique. La fiche 6 des technologies propres publiées par le Ministère illustre l'utilisation de ces résines dans un atelier de placage⁽⁴⁰⁾. Ces procédés ont été précédemment décrits dans des revues spécialisées⁽⁴¹⁾, les auteurs démontrent qu'ils permettent de rejeter des effluents aux égouts domestiques municipaux dont la teneur en métaux toxiques est inférieure aux normes établies.

Les échangeurs d'ions sont des substances granulaires insolubles comportant dans leur structure moléculaire des sites ioniques particuliers qui favorisent une permutation des ions. Cette technique permet d'interchanger un ion hydrogène ou sodium avec un autre cation, de même, l'ion hydroxyde peut être remplacé par un anion. Ces échanges sont réversibles, c'est-à-dire qu'en faisant circuler une solution appropriée dans l'échangeur d'ions, il retrouve ses propriétés initiales. Il est donc régénéré⁽⁴²⁾.

Il est important de signaler que ces résines peuvent subir un tassement progressif et qu'il est recommandé d'inverser la circulation du fluide de rinçage pour soulever les granules et permettre ensuite un écoulement normal de l'effluent à traiter.

L'utilisation de résines échangeuses d'ions est sujette à certaines conditions telles que:

- la concentration de la solution à traiter ne peut dépasser une concentration limite déterminée par le fabricant;
- la présence de matières en suspension, de gaz dissous en grande quantité, de substances oxydantes et de matières huileuses est néfaste à leur bon fonctionnement;

- les résultats obtenus en laboratoire doivent être utilisés avec prudence lors d'une application industrielle;
- lorsqu'on veut récupérer les métaux toxiques dans les eaux de rinçage des pièces plaquées, les bassins de rinçage doivent être alimentés avec de l'eau déminéralisée.

Il existe deux catégories d'échangeurs d'ions: les échangeurs de cations et les échangeurs d'anions.

7.4.8.2 Les échangeurs cationiques

Les substances granulaires utilisées pour échanger d'une manière réversible des cations tels que: Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , etc., possèdent des groupements sulfoniques ($-\text{SO}_3\text{H}$) ou carboxyliques ($-\text{CO}_2\text{H}$) qui constituent le site de la permutation cationique (H^+ remplacé par un métal en solution donc ionisé). Pour adoucir l'eau potable, on installe une résine du type R-Na; dans cette formule particulière, R symbolise la partie inactive de l'échangeur et Na représente l'espèce chimique qui participe à la permutation des cations.

Les études ont démontré que dans des solutions diluées, 0,1N à 25°C, la permutation des cations est plus rapide pour ceux dont la valence est plus élevée. Ainsi, dans l'énumération suivante, les premiers cations remplacent plus rapidement les ions Na^+ ou H^+ initialement fixés sur la résine échangeuse d'ions que ne le font les derniers: $\text{Al}^{3+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Ni}^{2+} = \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} = \text{Mg}^{2+} > \text{Ag}^+ > \text{NH}_4^{+(42)}$.

Petit à petit l'échangeur cationique se sature et il est alors nécessaire de procéder à une régénération. Elle est effectuée en faisant circuler un acide fort, par exemple H_2SO_4 à une concentration de 10% lorsque le cation permutable est l'ion hydrogène, ou un sel de sodium, par exemple NaCl lorsque le cation permutable



est l'ion sodium. La résine échangeuse d'ion utilisée pour adoucir les eaux dures est régénérée avec une solution de chlorure de sodium⁽⁷⁾.

7.4.8.3 Les échangeurs anioniques

Pour réaliser les échanges anioniques, on choisit une résine qui possède un groupe fonctionnel R-OH. L'ion hydroxyde (OH⁻) est remplacé pendant l'échange par un autre anion tel que: Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, HCO₃⁻, CrO₄²⁻, etc⁽⁷⁾.

La régénération de l'échangeur anionique est effectuée en faisant circuler une solution d'hydroxyde de sodium.

7.4.8.4 Traitement des effluents d'une unité de déminéralisation

Pour déminéraliser l'eau potable on installe un échangeur cationique et un échangeur anionique. Lorsqu'on procède à leur régénération, celle de l'échangeur cationique génère un effluent acide et celle de l'échangeur anionique produit un effluent basique. Les effluents de la régénération, y compris les eaux de rinçage doivent être neutralisés avant leur rejet à l'égout domestique municipal; ils sont donc dirigés vers un système d'ajustement du pH.

S'il s'agit de grandes installations de déminéralisation, il est conseillé d'entreposer les effluents dus à la régénération des échangeurs d'ions dans un bassin volumineux. Une conneutralisation se produira. Cependant il est généralement indispensable d'ajuster le pH de ces eaux avant de les rejeter. Un système de contrôle bien conçu permet de les déverser dans l'égout pluvial municipal ou directement au cours d'eau le plus proche.

7.4.8.5 Traitement des effluents de résines spécifiques

Pour mieux situer le lecteur, on prend le cas des résines cationiques et anioniques utilisées pour capter les métaux toxiques dans un atelier de placage.

Le passage des eaux de rinçage des pièces plaquées, contenant des cations toxiques, à travers les échangeurs cationiques produit un effluent acide qui doit être acheminé vers un système d'ajustement du pH^(40, 41).

On doit signaler que le passage des eaux de rinçage contenant de l'acide chromique à travers un échangeur cationique puis un échangeur anionique produit un effluent neutre qui peut être réintroduit dans le bassin de rinçage approprié^(40, 41).

Dans ce genre d'installation, la régénération des résines est suivie de leur rinçage à l'eau déminéralisée. Les eaux de rinçage sont acides ou basiques selon le cas et elles doivent être acheminées au système d'ajustement du pH.

7.5 TRAITEMENTS BIOLOGIQUES

7.5.1 Généralités

Les usines qui, malgré les pré-traitements effectués et les modifications apportées aux procédés, ne respectent pas les normes de rejet au niveau de la charge organique doivent s'assurer que leurs effluents sont adéquatement traités. Pour ce faire, elles peuvent, avec les accords et autorisations nécessaires, se raccorder au réseau d'égouts municipal, tel que mentionné au chapitre 6. Plusieurs usines québécoises se prévalent de cette possibilité pour épurer leurs effluents.

Si cette solution est impossible, trop onéreuse ou indésirable, les effluents industriels doivent être épurés avant leur déversement au cours d'eau. Pour la très grande majorité d'entre eux on doit alors avoir recours à un traitement biologique.



Les traitements biologiques qui peuvent également être utilisés comme prétraitement avant un rejet au réseau d'égouts afin de réduire la charge organique sans l'éliminer complètement, sont subdivisés en deux classes: les traitements aérobies et les traitements anaérobies.

Les procédés d'épuration qui entrent dans la première catégorie se déroulent en présence d'oxygène, ce dernier favorise le développement de microorganismes qui décomposent les substances biodégradables. A l'opposé, les microorganismes qui stabilisent les substances biodégradables en l'absence d'oxygène, réalisent un traitement ou une épuration anaérobie.

Dans un réacteur biologique on distingue parfois les phases aérobie, anoxie et anaérobie. Celles-ci peuvent être définies ainsi:

- phase aérobie: l'oxygène dissous est présent dans le réacteur;
- phase anoxie: l'oxygène dissous est absent, cependant il y a présence de nitrates dans le réacteur;
- phase anaérobie: il n'y a ni oxygène, ni nitrates dans le réacteur.

Avant de poursuivre les explications relatives aux traitements biologiques, les notions suivantes doivent être précisées pour une meilleure compréhension^(7, 43, 44):

- activité biologique;
- liqueur mixte;
- besoins en nutriments;
- nitrification, dénitrification et déphosphatation;
- rapport F/M;
- temps de séjour;
- constantes biocinétiques;
- oxygène dissous;
- besoins en oxygène;
- autres critères considérés.

a) Activité biologique

Dans un réacteur biologique, il se produit toute une série de changements biochimiques qui résultent du métabolisme des microorganismes. L'activité biologique dépend:

- de la biodégradabilité des polluants;
- de l'absence de composés toxiques ou inhibiteurs;
- de la présence d'éléments nutritifs;
- du pH et de la température des eaux à épurer.

Les procédés industriels engendrent des effluents dont la biodégradabilité peut être très élevée (effluents des abattoirs, des fromageries, des conserveries, etc.), modérée (eaux de procédé des industries textiles, papetières, etc.), faible (effluents des industries chimiques: raffineries, production d'adhésifs, etc) ou difficile (eaux de procédé des synthèses industrielles: polystyrène, phtalates, etc.).

Le tableau 7-12 présente une série de polluants susceptibles de nuire à l'activité biologique aérobie dans les bassins de boues activées, à certaines concentrations. On parle de la toxicité inhibitrice d'une substance sur le métabolisme des microorganismes épurateurs.

Diverses compagnies offrent aux entreprises des souches bactériennes spécifiques capables de biodégrader des acides gras, des composés aliphatiques halogénés, des phénols, du styrène, etc. Il est conseillé de réaliser une étude-pilote lorsqu'on doit épurer des eaux usées contenant des composés toxiques ou inhibiteurs.



Tableau 7-12: Concentrations de différentes substances inhibitrices des procédés biologiques aérobies⁽⁴⁵⁾

SUBSTANCES INHIBITRICES	CONCENTRATIONS EN mg/l
Ammoniaque	≥ 480
Arsenic	0,04 - 0,4
Bore	0,05 - 10
Cadmium	0,5 - 10
Calcium	2 500
Chrome	0,1 - 20
Cuivre	0,1 - 1
Cyanures	0,05 - 20
Iode	10
Fer	5 - 500
Plomb	0,1 - 10
Manganèse	10
Mercure	0,1 - 5,0
Nickel	1 - 5
Argent	0,03 - 5
Sulfures	> 50
Vanadium	20
Zinc	0,30 - 20
Pesticides communs	0,05 - 0,10
Lindane	5 - 10
Composés aromatiques	5 - 150
Chlorobenzènes	0,1 - 5
Composés aliphatiques halogénés	150 - 250
Composés nitrés	1 - 500
Composés oxygénés	120 - 500
Alcools	1 000
Phénols	90 - 1000
Chlorophénols	5 - 100
Nitrophénols	50 - 200
Phtalates	> 10
HAP	500 - 2 500

Les éléments nutritifs nécessaires à l'activité biologique peuvent être répartis en deux grandes catégories: le substrat et les oligo-éléments. Le paragraphe intitulé "besoins en nutriments" fournit quelques renseignements à leur sujet.

L'activité biologique est optimale lorsque le pH des eaux est compris entre 6,5 et 7,5 et il est conseillé que l'affluent du traitement biologique ait un pH compris entre 4 et 9.

En ce qui concerne la température de ces eaux, il est préférable qu'elle se situe entre 10 et 30°C. Au-dessous de 5°C, l'activité biologique est faible. On signale qu'entre 10 et 30°C, la croissance des microorganismes double lorsque la température augmente de 10°C. Selon la température de l'eau dans un réacteur biologique, le développement d'un groupe de bactéries ou d'un autre est favorisé comme le tableau 7-13 le montre. L'influence de la température sur la vitesse de réaction dans un procédé biologique suit généralement l'équation suivante⁽⁴⁶⁾:

$$r_T = r_{20} \theta^{(T - 20)}$$

où

- r_T = taux de la réaction à la température T
- r_{20} = taux de la réaction à 20°C
- θ = coefficient de température ($1,00 < \theta < 1,12$)
- T = température dans le réacteur, en °C

Tableau 7-13: Relation entre les plages de température et l'activité des groupes de bactéries

BACTÉRIES	TEMPÉRATURE (°C)	
	Intervalle d'activité	Intervalle optimum
Psychrophiles	-10 à 30	12 à 18
Mésophiles	20 à 50	25 à 40
Thermophiles	35 à 75	55 à 65



b) Liqueur mixte:

Dans un réacteur biologique, les microorganismes transforment les matières organiques en produits stables. On utilise couramment l'expression "liqueur mixte" (LM) pour désigner le mélange constitué de l'effluent à épurer, de la population microbienne active et des substances nutritives qui sont ajoutées le cas échéant pour palier à une déficience en nutriments.

c) Besoins en nutriments

Lorsqu'un effluent contenant un substrat organique est mélangé à une liqueur mixte, diverses réactions biochimiques se produisent. Il en résulte une croissance du nombre de microorganismes et la formation de composés chimiques simples. Toutes ces réactions se déroulent si les besoins en nutriments sont respectés.

Dans le cas d'un traitement biologique aérobie, on recommande que les éléments C, N et P soient dans les proportions 100, 5 et 1 respectivement. Lorsque l'azote ou le phosphore sont en quantités insuffisantes, on doit en ajouter pour que les microorganismes se multiplient convenablement.

Lorsqu'on examine le cas d'un traitement anaérobie, comme la croissance est plus lente, les besoins en nutriments sont réduits. Le rapport N/P peut être encore estimé à 5/1, mais le rapport DCO/azote est variable, de 60/1 à plus de 300/1, selon la charge spécifique du réacteur. Cette dernière est définie comme étant la quantité de matières organiques à éliminer par unité de masse de microorganismes.

La croissance des microorganismes dépend aussi de la présence de micronutriments tels que le sodium, le potassium, le calcium, le magnésium, les sulfates, etc. et d'oligo-éléments notamment le fer, le cuivre et le manganèse.

d) Nitrification, dénitrification et déphosphatation

On a vu dans le paragraphe précédent que l'azote et le phosphore constituent deux nutriments importants dans les traitements biologiques. Les deux éléments sont sujets à diverses transformations selon les conditions qui prévalent dans le réacteur biologique. On parle surtout de la nitrification, de la dénitrification et de la déphosphatation.

La nitrification correspond à l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrites puis en nitrates. Ces deux transformations sont réalisées par des microorganismes autotrophes: les Nitrosomonas dans la première et les Nitrobacter dans la deuxième. Elles se produisent pendant la phase aérobie.



L'addition des deux équations précédentes donne:



Cette équation montre que la nitrification d'un gramme d'azote ammoniacal requiert 4,57g d'oxygène. On rappelle que l'azote ammoniacal peut être dû à la présence d'urée dans l'effluent mais aussi à l'hydrolyse enzymatique de l'azote organique notamment des protéines.



En fait, la nitrification de l'azote ammoniacal requiert également la présence de substances alcalines notamment des hydrogénocarbonates (HCO_3^-) ou des carbonates (CO_3^{2-}). Metcalf et Eddy traduisent ainsi la nitrification:



La dénitrification se produit pendant la phase anoxique. En l'absence d'oxygène, des bactéries dénitrifiantes hétérotrophes, en particulier *Pseudomonas denitrificans*, transforment les nitrates en azote gazeux. Les nitrates constituent la source d'oxygène pour ces bactéries.

Avant d'aborder la déphosphatation biologique, on rappelle que plusieurs procédés industriels introduisent des quantités appréciables de phosphates dans leurs eaux usées, notamment: les salaisons, les fromageries, les abattoirs, certaines industries du secteur de la chimie ou de celui du revêtement de surface, etc. Lorsque ces entreprises rejettent des eaux épurées dans un cours d'eau, elles doivent respecter la norme de 1mg/l pour le phosphore total. En autant que l'effluent industriel soit biodégradable, la déphosphatation biologique constitue une avenue qui ne s'avère pas nécessairement suffisante pour respecter cette norme.

En termes simples, on peut dire que la déphosphatation biologique consiste à forcer les microorganismes à accumuler le phosphore excédentaire. Les boues activées contiennent normalement 1,5 à 2% de phosphore sur une base de matière sèche. Pendant la déphosphatation biologique, les bactéries déphosphatantes en assimilent plus et après cette étape, les boues peuvent contenir 3 à 7% de phosphore sur une base de matière sèche.

Pour réaliser la déphosphatation biologique, on fait en sorte qu'une phase anaérobie soit suivie d'une phase aérobie dans le réacteur. Pendant les

conditions anaérobies, les bactéries facultatives déphosphatantes puisent dans leurs réserves de polyphosphates l'énergie nécessaire à la consommation du substrat carboné, en particulier les acétates, les butyrates, les valérates, etc. Elles accumulent ainsi des poly β -hydroxybutyrates (PHB) et les poly β -hydroxyvalérates (PHV)⁽⁴⁷⁻⁵⁰⁾. Elles libèrent en même temps du phosphore. Lors de la phase aérobie, ces bactéries reconstituent leurs réserves de polyphosphates généralement supérieures aux quantités libérées pendant l'anaérobiose. Il y a donc une diminution du phosphore soluble dans la liqueur mixte. Il s'agit alors de procéder à une purge adéquate des boues et à leur traitement afin d'éviter le relargage des phosphates.

e) Rapport F/M

Le réacteur étant le coeur d'un traitement biologique, on s'intéresse à la quantité de substrat qu'on y introduit et à la masse des microorganismes qui la digère. Dans le rapport F/M, F représente la quantité de substrat qui entre quotidiennement dans le réacteur, en kg DBO₅ par jour et M la quantité de biomasse présente dans le réacteur, en kg de matières volatiles en suspension dans la liqueur mixte.

Ce rapport est calculé selon la formule suivante⁽⁵¹⁾:

$$F/M = \frac{S_o \times Q}{X \times V}$$

où:

- S_o = concentration de la charge organique à l'entrée du réacteur biologique (mg/l);
- Q = débit de l'eau à épurer (m³/d);
- X = concentration de la biomasse (MLVSS en mg/l);
- V = volume utile du réacteur biologique (m³).



f) Temps de séjour

Le temps de séjour qu'on appelle aussi le temps de rétention hydraulique est défini comme étant le rapport entre le volume utile du réacteur biologique et le débit quotidien de l'effluent à épurer.

$$t_r = \frac{V}{Q}$$

où:

t_r = temps de rétention hydraulique, d

g) Âge des boues:

L'âge des boues est défini comme étant le rapport entre la quantité de microorganismes présents dans le réacteur biologique et la quantité de microorganismes évacuée quotidiennement dans la purge des boues et l'effluent du système de traitement^(46, 51).

$$\theta_c = \frac{X V}{X_e Q_e + X_p Q_p}$$

où:

θ_c = âge des boues, d;

X = concentration de la biomasse (MLVSS en mg/l);

V = volume du réacteur biologique, m³;

X_e = concentration des microorganismes dans l'effluent, (MLVSS en mg/l);

Q_e = débit de l'effluent, m³/d;

X_p = concentration des microorganismes dans la purge, (MLVSS_p en mg/l);

Q_p = débit de la purge des boues, m³/d.

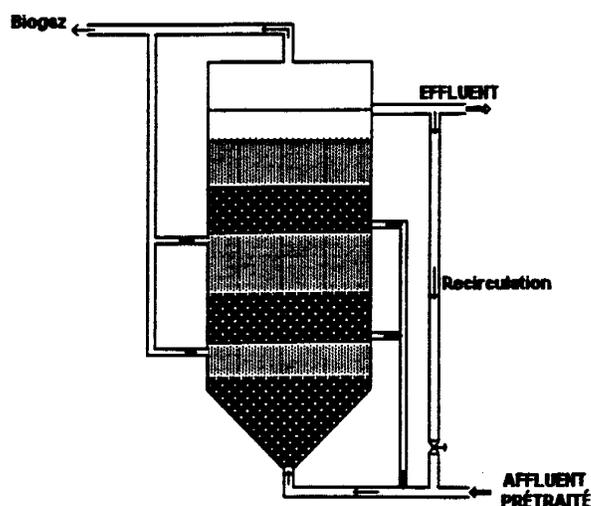


Figure 7-38: Réacteur anaérobie à plateaux

La digestion peut être réalisée dans un seul réacteur, mais comme le traitement est effectué par une série de réactions et que les pH optimaux pour l'acidogénèse et la méthanogénèse sont différents (5,5 à 6,5 pour l'acidogénèse et 7,0 à 7,5 pour la méthanogénèse), on pourra concevoir un traitement en deux étapes (à deux réacteurs). Cependant, la conception est plus épineuse et on doit prévoir le transfert des gaz pour la portion de la méthanogénèse impliquant le dioxyde de carbone et l'hydrogène (voir figure 7-31 du sous-paragraphe 7.5.3.1).

7.5.3.6 Contrôle du pH

Le contrôle du pH d'une digestion anaérobie est plus complexe que celui de n'importe lequel des traitements aérobies. Une faible chute du pH entraîne une perturbation de l'activité des différentes populations de micro-organismes et le retour à l'équilibre est très difficile à rétablir si la situation n'est pas corrigée rapidement.

Le contrôle du pH peut être effectué en mesurant:

- le pH de l'affluent:
- le pH de la liqueur mixte;
- la production du biogaz.

a) Le pH de l'affluent:

Cette méthode de contrôle est celle qui donne la réponse la plus rapide. Cependant, cette mesure ne montre pas le type d'acide qui produit la différence de pH; un acide organique dans l'affluent peut avoir un effet très différent sur la biomasse de celui d'un acide inorganique. Conséquemment, une surconsommation de produit neutralisant est possible et coûteuse, sans être bénéfique.

b) Le pH de la liqueur mixte ou le pH de l'effluent du réacteur:

Cette méthode est beaucoup plus employée car l'alcalinité de la liqueur mixte peut tamponner les effets du pH de l'affluent. Les temps de réponse sont cependant plus longs et la reprise de l'activité est également plus lente.

c) La production du biogaz:

Cette méthode de contrôle s'appuie sur la plus grande sensibilité des bactéries responsables de la méthanogénèse aux variations du pH et elle reflète mieux l'effet du pH sur l'activité biologique. On peut cependant éprouver une certaine difficulté à mesurer la quantité de gaz produite et cette mesure est faussée par la production d'hydrogène et de dioxyde de carbone. De plus, les variations de pH ne sont pas mesurées quantitativement. Finalement, l'activité biologique peut être affectée par d'autres paramètres (ex.: température, présence de substances toxiques, etc.). Cette méthode doit donc être utilisée conjointement avec une autre.

7.6 CONCLUSION

Le lieu d'implantation d'une usine, la nature et l'importance de ses activités influencent le(s) traitement(s) qu'elle doit installer pour que ses eaux usées soient conformes aux règlements municipaux et/ou exigences du ministère de l'Environnement et de la Faune.

On a vu que certains abattoirs installent uniquement un intercepteur de graisses (figure 7-5, paragraphe 7.3.4.3), que d'autres utilisent un flottateur à l'air dissous (figure 7-17, paragraphes 7.4.3.3 et 7.4.5) et que quelques-uns doivent installer également un réacteur biologique séquentiel (paragraphe 7.5.2.4).

Un atelier de placage peut devoir installer quelques-uns et parfois l'ensemble des traitements qui sont schématisés sur la figure 7-12 (paragraphe 7.4.3.2). Les traitements à installer peuvent être plus complexes s'il rejette ses eaux traitées dans un cours d'eau.

Les figures 7-39 et 7-40 montrent que la chaîne des traitements pour dépolluer certaines eaux industrielles, peut être relativement compliquée. Elles illustrent les traitements implantés pour épurer les eaux usées d'une fromagerie importante d'une part et celles d'une industrie chimique d'autre part.

Ce chapitre ne peut pas couvrir toutes les situations possibles, par conséquent des guides techniques sectoriels le complètent ou devront le compléter.



SYSTÈMES DE TRAITEMENT	PRÉCISIONS
Station de pompage	
Tamissage	Tamis rotatif à alimentation intérieure
Dessablage	Dessableur longitudinal
Égalisation du débit et Ajustement du pH	Bassin de 324 m ³ avec agitateurs Temps de rétention: 8h Ajout de HCl ou Ca(OH) ₂ pH final: 6,8
Station de pompage	
Réacteur anaérobie	2 réacteurs du type UASB
Décanteur	Recirculation partielle et purge des boues
Traitement aérobie	1 étang aéré à 2 cellules (forte aération) 1 étang aéré à 2 compartiments (aération plus faible)
Bassins de sédimentation	2 bassins
Rejet au cours d'eau	

**Figure 7-39: Traitements des eaux usées à l'usine d'Agropur
(Notre-Dame-du-Bon-Conseil)**

SYSTÈMES DE TRAITEMENT	PRÉCISIONS
Tamisage	Tamis tangentiel (1,27 mm)
Réservoir tampon et Ajustement du pH	Égalisation du débit Agitation des eaux Ajout de NaOH si nécessaire
Station de pompage	
Coagulation	Bassin de 0,76 m ³ Ajout de sulfate ferrique
Floculation	Bassin de 0,76 m ³ Ajout d'un polymère anionique
Décantation primaire	Deux bassins de 45 m ³ (4,5 x 3 x 3,35) Boues pompées vers le filtre-presse
Bassin d'égalisation	Volume 35,7 m ³ Aération
Traitement aérobie	Bassin de 38,25 m ³ Recirculation des boues activées provenant du bassin de réaération
Décanteur secondaire	Bassin de 27,3 m ³ équipé de tubes inclinés
Bassin de réaération	Bassin de 77,9 m ³
Bassin final de rétention et Rejet au cours d'eau	
Digestion aérobie des boues biologiques	Bassin de 25,5 m ³ Aération Surnageant vers le bassin d'égalisation
Filtre-presse	Déshydratation des boues primaires et secondaires

Figure 7-40: Traitements des eaux usées à l'usine de la Compagnie Huntsman du Canada (Mansonville)

BIBLIOGRAPHIE

- 1) EYSENBACH, E., *"Pretreatment of Industrial Wastes"*, Manual of Practice N° FD-3, Water Environment Federation, 1994.
- 2) FAVRE, H., *"La nomenclature de la chimie inorganique"*, Éditeur: Ordre des chimiste du Québec, 1994.
- 3) DESJARDINS, R., *"Le traitement des eaux"*, 2^e édition, École Polytechnique, 1990.
- 4) APHA, AWWA., WEF, *"Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"*, 18^e édition, 1992.
- 5) U.S.EPA, *"Flow Equalization"*, EPA 625/4-74-006, May 1974.
- 6) GRANT, Douglas M., *"Open Channel Flow Measurement Handbook"*, ISCO inc., 1981.
- 7) DEGRÉMONT, INFILCO, *"Mémento technique de l'eau"*, Tomes 1 et 2, 9^e édition, Degrémont, 1989.
- 8) American Petroleum Institute, *"Manual on disposal of refinery wastes"*, Chapter 5: Oil-water, separator process design, 1969.
- 9) Service de l'assainissement des eaux, DPSI (MEF), *"Critères de base pour la conception d'un séparateur gravitaire eau-huile"*, octobre 1995.
- 10) U.S. EPA, *"Treatability Manual"*, volume III, Technologies for Control/Removal of Pollutants, 1980.

- 11) Institut Allemand de Normalisation, *"Grease interception systems"*, Part I.
- 12) U.S. EPA, *"Process Design Manual for Suspended Solids Removal - U.S. EPA Technology Transfer"*, EPA 625/1-75-003a, 1975.
- 13) GABRA, G., *"Étude bibliographique des procédés d'élimination du cyanure des effluents du traitement des minerais d'or"*, Projet 2269, 1985.
- 14) Gouvernement Belge, *"Pollution par le cyanure"*, Note technique n° 4, Bruxelles, 1985.
- 15) MEINCK, F., STOOFF, H. ET KOHLSCHÜTTER, H., *"Les eaux résiduaires industrielles"*, Masson et Cie, 1970.
- 16) U.S. EPA, *"Process Design Manual for Sulfide Control in Sanitary Sewerage Systems"*, 1974.
- 17) U.S. EPA, *"Development Document for Interim Final Effluent Limitations Guidelines and Proposed New Source Performance Standards for the Lead Segment of the Nonferrous Metals Manufacturing Point Source Category"*, U.S. EPA 440/1-75-032a, 1975.
- 18) DAY, R.A. et UNDERWOOD, A.L., *"Quantitative Analysis"*, 2^e édition, Prentice-Hall, 1967.
- 19) WEAST, R.C., *"CRC Handbook of Chemistry and Physics"*, 68^e édition, CRC Press inc., 1987.
- 20) U.S. EPA, *"Control and Treatment Technology for the Metal Finishing Industry-Sulfide Precipitation"*, EPA Transfer, 1980.



- 21) BERGEVIN, Pierre, "*Guide technique sectoriel: Abattoirs et environnement*", Ministère de l'Environnement et de la Faune, Montréal, 1996 (en préparation).
- 22) U.S. EPA, "*Process Design Manual for Phosphorus Removal*", EPA 625/1-76-001a, 1976.
- 23) BLONDEAU, F et BONTONOU, J.Y., "*Développements de la décantation lamellaire dans ses applications à l'épuration des eaux usées domestiques*", juillet 1986.
- 24) LESSARD, P. MARTEL, D. et DESJARDINS, B., "*Modélisation du comportement des matières en suspension à l'effluent d'un décanteur primaire lamellaire*", Revue canadienne de génie civil, CNRC, volume 20, numéro 5, octobre 1993.
- 25) GRIMES, C. et NYER E., "*Lamella clarification: design-application*", 33rd Industrial Waste Conference Proceedings, Purdue University, p. 950-964, 1978.
- 26) WANG, L. et WANG, M.-H., "*Bubble Dynamics and Air Dispersion Mechanisms of Air Flotation Process Systems - Part A: Material Balances*", 44th Purdue University Industrial Waste Conference Proceedings, p. 493 à 504, 1989.
- 27) KROFTA, M. et WANG, L., "*Bubble Dynamics and Air Dispersion Mechanisms of Air Flotation Process Systems - Part B: Air Dispersion*", 44th Purdue University Industrial Waste Conference Proceedings, p. 505 à 511, 1989.



- 28) ZIMMERMAN, M. et JACQUEZ, R., "*Poultry Waste Pretreatment Through Dissolved Air Flotation Coupled with Lime-Polymer Conditioning*", 35th Purdue University Industrial Waste Conference Proceedings, p. 586 à 595, 1980.
- 29) JEFF, H. et MITCHELL, D., "*Grease and O.I. Product Recovery from Dissolved Air Flotation Skimmings of Poultry Processing Wastewater*", 35th Purdue University Industrial Conference Proceedings, p. 57, 1980.
- 30) RAMIREZ, E., "*Comparative Physicochemical Study of Industrial Waste Water Treatment by Electrolytic, Disposed Air and Dissolved Air Flotation Technologies*", 34th Purdue University Industrial, Waste Conference Proceedings, p. 699 à 709, 1979.
- 31) POIRIER, Micheline, "*Guide technique sectoriel: Industrie de la transformation du lait et Environnement*", Ministère de l'Environnement et de la Faune, Montréal, 1996.
- 32) Direction des programmes d'assainissement (Ministère de l'Environnement du Québec), "*Osmose inverse et ultrafiltration: principes généraux et applications en assainissement industriel*", document interne, 1992.
- 33) Direction des programmes d'assainissement (Ministère de l'Environnement du Québec), "*Applications environnementales des séparations par membrane en France: exploration en vue d'un programme de collaboration*", rapport de mission, 1991.
- 34) BEN AIM, R., LIU, M.-G. et VIGNESWARAN, "*Recent Development of Membrane Processes for Water and Waste Water Treatment*", Wat. Sci. Tech., volume 27, n° 10, p. 141 à 149, 1993.



- 35) PANNUZZO, S., *"L'emploi des membranes séparatives dans le traitement des effluents huileux et solvants"*, L'eau, l'industrie, les nuisances, n° 181, p. 42 à 46.
- 36) DARD, S., FRANCHET, J., SEBERAC, P. et BERTRAND, S., *"Désulfatation par nanofiltration des eaux d'exhaure de mines: l'usine de Jarmy"*, L'eau, l'industrie, les nuisances, n° 181, p. 47 à 50.
- 37) SWIENTEK, R.J., *"Ultrafiltration's expanding role in food & beverage processing"*, Food Processing, p. 71 à 83, April 1986.
- 38) Direction de la coordination de la recherche (MEF), *"Développement d'un procédé de traitement d'huiles usées par microfiltration"*, Envirodoq EN950002, 1994.
- 39) CHEREMISINOFF, P.N. et ELLERBUSCH, F., *"Carbon Adsorption Handbook, Ann Arbor Science"*, 2^e édition, 1980.
- 40) Direction des programmes d'assainissement (Ministère de l'Environnement du Québec), *"Fiche 6 des Technologies propres de la Collection Produire sans polluer"*, 1993.
- 41) NADEAU, T. et DEJAK, M., *"Copper, nickel and chromium recovery in a jobshop, Plating and surface finishing"*, April 1986.
- 42) DEGRÉMONT, *"Les échangeurs d'ions"*, document technique général, 32 pages, 1980.
- 43) EDELINE, F., *"L'épuration biologique des eaux"*, Théorie et Technologie des réacteurs, 4^e édition, Cebedoc, 1993.

- 44) JOBIN, R., *"Traitement biologique des effluents de pâtes et papiers"*, Kruger inc., 1992.
- 45) U.S. EPA, *"Guidance Manual for Preventing Interference at POTW's"*, 1987.
- 46) METCALF and EDDY inc., *"Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse"*, 3^e édition, McGraw-Hill, inc., 1991.
- 47) COMEAU, Y., *"La déphosphatation biologique, métabolisme microbien"*, Sciences et Techniques de l'Eau, vol. 23, n° 1, février 1990.
- 48) COMEAU, Y., *"La déphosphatation biologique, métabolisme microbien"*, Sciences et Techniques de l'Eau, vol. 23, n° 2, mai 1990.
- 49) NUTT, S.G., *"A Review of Approaches to Achieve Low Effluent Phosphorus Concentrations"*, Water Poll. Res. J. Canada, volume 26, n° 4, p. 495 à 547, 1991.
- 50) U.S. EPA, *"Design manual-phosphorus removal"*, EPA 625/1-87/001, 1987.
- 51) BENEFIELD, L.D. et RANDALL, C.W., *"Biological Process Design for Wastewater Treatment"*, Prentice-Hall inc., 1980.
- 52) AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE) et WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF), *"Aeration - A wastewater Treatment Process"*, WPCF - Manual of Practice, No FD-13, ASCE - Manuals and Reports on Engineering Practice, N° 68, 1988.
- 53) SHELL, G. et SANBORN, K., *"State-of-the-art oxygen transfer"*, Comptendu de conférence donnée au Kentucky-Tennessee Water Pollution Control technical Program, 1990.



- 54) Service de l'assainissement des eaux, DPSI (MEF), "*Cahier technique de conception pour les réacteurs biologiques séquentiels - industrie agro-alimentaire*", 1996.
- 55) AGRICULTURE CANADA, "*Alpiste roseau, un guide de production*", Publication 805F, 1981.
- 56) Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPA), "*Technologie de la conserve - L'eau: utilisation et traitements*", 1982.
- 57) Service de l'assainissement des eaux, DPSI (MEF), "*Cahier technique - Fosses septiques et éléments épurateurs*", 1995.
- 58) WPCF, "*Exploitation des stations des eaux usées*", Manuel de pratique n° 11, WPCF, AQTE, Environnement Canada, 1985.
- 59) ROQUES H., "*Fondements théoriques du traitement biologique des eaux*", volumes 1 et 2, Technique et documentation, 1979.
- 60) LAWRENCE, A.W. et McCARTHY, P.L., "*Unified Basis for Biological Treatment Design and Operation*", Journal of Sanitary Engineering Division, ASCE, 96, SA 3, p. 757, 1970.
- 61) Service de l'assainissement des eaux, DPSI (MEF), "*Cahier technique de conception pour les lagunes*", 1994.
- 62) LABONTÉ, R., ARMAND, G. et JALBERT, J.-M., "*Étangs aérés facultatifs - Méthodes de calcul*", Direction de l'assainissement urbain, Notes techniques internes, n° 4, 1982.
- 63) ENVIRONNEMENT CANADA, "*Technologies Saint-Laurent, Profil des projets*", 1992.



- 64) ENVIRONNEMENT CANADA, Centre Saint-Laurent, *"Traitement des effluents d'une usine intégrée, de pâtes et papiers par biofiltration avec le procédé Biofor"*, 1993.
- 65) SAMSON, R., *"Une place pour la digestion anaérobie dans le traitement des effluents et des déchets au Québec"*, La collection Biomasse Innovation, CQVB, 1993.
- 66) MULLIGAN, C.N., SAFI, B.F., MEUNIER, J. et CHEBIB, J., *"Anaerobic Treatment of Cheese Dairy Wastewater Using the SNC Bioreactor"*, Water Poll. Res. J. Canada, Vol. 28, n° 3, p. 597 à 619, 1993.
- 67) BREWER, H.M., *"Technologie anaérobie"* - Compte-rendu des activités de recherche, de développement et de démonstration dans l'industrie agro-alimentaire et celle des pâtes et papiers, Environnement Canada, 1988.
- 68) BEAK ENGINEERING LTD, *"Le traitement anaérobie des effluents de laiterie"*, Environnement Canada, 1986.
- 69) MALINA, J.F. et POHLAND, F.G., *"Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes"*, Volume 7, Technomic Publishing Co., 1992.
- 70) BERNARD, A., *"Caractérisation du bioréacteur anaérobie, dans un réacteur à plateaux avec alimentation étagée, d'un effluent de fromagerie"*, Mémoire présenté au département de génie chimique, École Polytechnique, 1989.



ANNEXE I

COMPOSÉS INORGANIQUES DÉTECTÉS

DANS LES EAUX D'APPROVISIONNEMENT

OU UTILISÉS DANS LE PRÉTRAITEMENT

DES EAUX USÉES



Les eaux distribuées par les aqueducs municipaux contiennent des substances dissoutes en faibles proportions. Par exemple dans le cas d'une eau qui contient la substance "X" à raison de 100 mg/l, on peut aussi dire que la dite substance représente environ 0,01% de la masse de ce litre d'eau ($d=1$).

Néanmoins, même si la proportion des ions relativement communs dans l'eau tels que les anions: hydrogénocarbonates, carbonates, chlorures, sulfates, sulfures, phosphates ou de leurs contreparties positives: calcium, fer, magnésium, potassium, sodium, est très faible, l'importance de certains d'entre eux peut être considérable lorsqu'il s'agit de traiter l'eau en prévision d'un usage spécifique notamment son utilisation sous forme de vapeur, de liquide de refroidissement, d'eau de procédé pure, etc.

A l'opposé, lorsqu'il s'agit de traiter des eaux usées, quelques ions introduits pour les besoins des procédés de production peuvent nécessiter la mise en oeuvre de procédés d'épuration spécifiques, par exemple: l'ajustement du pH, la décyanuration, la dénitrification, la déphosphatation, la désulfuration, etc. Pourtant, ces ions dépassent rarement 0,1% de la masse de l'eau. En effet, une eau usée dans laquelle se trouvent 5000 mg/l de solides totaux dont 80% seraient constitués de matières en suspension (4000 mg/l) contient 99,5% d'eau et 0,5% de substances diverses.

Sept tableaux ont été préparés pour familiariser le lecteur avec les ions souvent présents dans les eaux d'approvisionnement et dans les eaux usées ou encore avec les produits chimiques employés dans le traitement des eaux⁽¹⁾:

Tableau I-1: Ions présents dans les eaux d'approvisionnement et leurs principales propriétés

Tableau I-2: Composés sodiques présents dans les eaux d'approvisionnement ou utilisés pour divers besoins

Tableau I-3: Composés sodiques phosphatés utilisés pour divers besoins (sources de phosphates dans les eaux usées)

Tableau I-4: Composés du calcium présents dans les eaux d'approvisionnement ou utilisés pour divers besoins

Tableau I-5: Composés du magnésium présents dans les eaux d'approvisionnement ou susceptibles de se former au cours d'un traitement

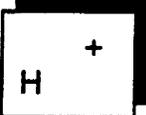
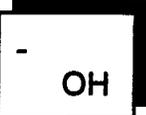
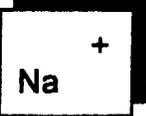
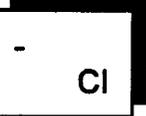
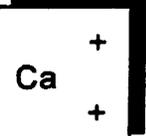
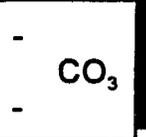
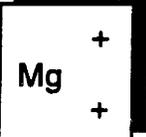
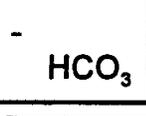
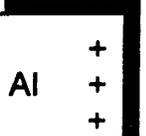
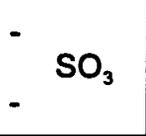
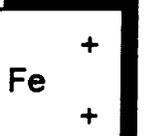
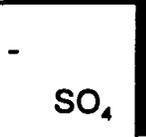
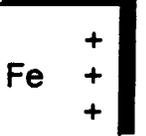
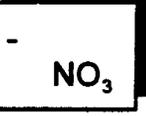
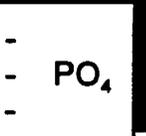
Tableau I-6: Rôles des acides

Tableau I-7: Produits fréquemment utilisés pour effectuer la coagulation

Nous tenons à signaler que la nomenclature des produits chimiques inorganiques et celle de la chimie organique ont subi d'importants changements depuis quelques années. "L'International Union of Pure and Applied Chemistry" (IUPAC) a publié "Nomenclature of Organic Chemistry" en 1979 et "Nomenclature of Inorganic Chemistry" en 1990. Dans les tableaux suivants, les substances chimiques inorganiques sont nommées selon cette nouvelle nomenclature⁽²⁾.



Tableau I-1: Ions présents dans les eaux d'approvisionnement et leur principales propriétés^(1,2)

CATIONS (chargés positivement)		ANIONS (chargés négativement)	
	Hydrogène		Hydroxyde
	Sodium		Chlorure
	Calcium		Carbonate
	Magnésium		Hydrogène-carbonate
	Aluminium		Sulfite
	Fer (II)		Sulfate
	Fer (III)		Nitrate
			Phosphate

- Forme de l'eau avec l'ion hydroxyde
- Forme des acides avec les radicaux acides (voir le tableau 6)

- Forme de l'eau avec l'ion hydrogène
- Forme des bases avec les métaux

- Forme une base avec l'ion hydroxyde
- Forme des sels solubles avec les radicaux acides (voir le tableau 2)

- Leurs radicaux acides forment des acides avec l'ion hydrogène (voir le tableau 6)

- Forment des précipités pendant le chauffage de l'eau (dureté)
- Forment des boues avec l'ion hydroxyde
- Forment des sels solubles avec les radicaux acides (voir les tableaux 4 et 5)

- Leurs radicaux acides forment des sels avec les métaux (voir les tableaux 2, 3, 4 et 5)

- Forment des bases avec l'ion hydroxyde
- Forment des sels avec les radicaux acides (voir le tableau 7)

- Leurs radicaux acides forment des sels avec les métaux (voir les tableaux 2, 3, 4 et 5)

NB: Le fer, le manganèse et la silice forment des dépôts dans les systèmes de distribution, les circuits de refroidissement et les circuits de vapeur. La silice est reconnue pour produire des dépôts particulièrement durs et pour occasionner différents problèmes.



Tableau I-2: Composés sodiques présents dans les eaux d'approvisionnement ou utilisés pour divers besoins^(1,2)

<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Na</td> <td style="text-align: center;">HCO₃</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">NaHCO₃ Hydrogénocarbonate de sodium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contribue à l'alcalinité, la salinité et à la conductivité • L'ion hydrogénocarbonate peut former du CO₃²⁻ et du CO₂ lorsque l'eau est chauffée 	+	-	Na	HCO ₃	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">Na</td> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Na</td> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">CO₃</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Na₂CO₃ Carbonate de sodium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contribue à l'alcalinité, la salinité et à la conductivité • Na₂CO₃ en solution libre de CO₂ lorsque l'eau est chauffée • Produit fréquemment incorporé aux détergents industriels doux • Produit utilisé pour précipiter le plomb 	Na	+	-	Na	+	-	CO ₃			<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Na</td> <td style="text-align: center;">Cl</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">NaCl Chlorure de sodium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contribue à la salinité et à la conductivité • Utilisé pour régénérer les résines cationiques (ex.: adoucissement, M^{m+} remplacer Na⁺ pendant la fixation) • Utilisé pour préparer des saumures (salaisons, fromageries, poissonneries, etc.) 	+	-	Na	Cl					
+	-																							
Na	HCO ₃																							
Na	+	-																						
Na	+	-																						
CO ₃																								
+	-																							
Na	Cl																							
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">Na</td> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Na</td> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">SO₄</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Na₂SO₄ Sulfate de sodium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contribue à la salinité et la conductivité • Peut être relativement abondant dans certaines eaux 	Na	+	-	Na	+	-	SO ₄			<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Na</td> <td style="text-align: center;">OH</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">NaOH Hydroxyde de sodium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilisé pour ajuster le pH • Employé pour précipiter les métaux toxiques • Produit fréquemment incorporé aux détergents industriels forts (peut être remplacé par KOH) 	+	-	Na	OH	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">Na</td> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Na</td> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">SO₃</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Na₂SO₃ Sulfite de sodium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produit ajouté à l'eau dans laquelle on veut enlever l'oxygène: $\text{SO}_3^{2-} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$	Na	+	-	Na	+	-	SO ₃		
Na	+	-																						
Na	+	-																						
SO ₄																								
+	-																							
Na	OH																							
Na	+	-																						
Na	+	-																						
SO ₃																								

**Tableau I-3: Composés sodiques phosphatés utilisés pour divers besoins^(1,3)
(Sources de phosphates dans les eaux usées)**

<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>Na</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>Na</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>Na</td><td>+</td><td>-</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">PO_4</p> <p style="text-align: center;">Na_3PO_4 Phosphate de sodium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Employé pour traiter les eaux de chaudière • Utilisé dans les détergents 	Na	+	-	Na	+	-	Na	+	-	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>Na</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>Na</td><td>+</td><td>-</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">HPO_4</p> <p style="text-align: center;">Na_2HPO_4 Hydrogénophosphate de disodium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Employé pour traiter les eaux de chaudière • Employé comme mordant en teinturerie • Utilisé comme agent émulsifiant et tamponnant ou comme détergent 	Na	+	-	Na	+	-	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>Na</td><td>+</td><td>-</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">H_2PO_4</p> <p style="text-align: center;">NaH_2PO_4 Dihydrogénophosphate de sodium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Employé pour traiter les eaux de chaudière • Utilisé en alimentation (produit acidulant et séquestrant) • Utilisé comme détergent 	Na	+	-									
Na	+	-																											
Na	+	-																											
Na	+	-																											
Na	+	-																											
Na	+	-																											
Na	+	-																											
<p style="text-align: center;">$(\text{NaPO}_3)_n$</p> <p style="text-align: center;">(Ex: $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$ Hexamétaphosphate de sodium)</p> <p style="text-align: center;">Polyphosphates:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ont une action complexante (traitement des eaux dures) • Empêchent la corrosion (si O_2 présent) • Dans l'eau chauffée, ils deviennent des phosphates insolubles • Utilisé en teinturerie, tannerie, buanderie, etc. 	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>Na</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>Na</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>Na</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>Na</td><td>+</td><td>-</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">P_2O_7</p> <p style="text-align: center;">$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$</p> <p style="text-align: center;">Pyrophosphate de sodium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produit fréquemment incorporé aux détergents 	Na	+	-	Na	+	-	Na	+	-	Na	+	-	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>Na</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>Na</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>Na</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>Na</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>Na</td><td>+</td><td>-</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">P_3O_{10}</p> <p style="text-align: center;">$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$</p> <p style="text-align: center;">Triphosphate de sodium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produit fréquemment incorporé aux détergents industriels • Utilisé comme agent séquestrant • Employé dans la préparation d'aliments (saumures phosphatées) 	Na	+	-	Na	+	-	Na	+	-	Na	+	-	Na	+	-
Na	+	-																											
Na	+	-																											
Na	+	-																											
Na	+	-																											
Na	+	-																											
Na	+	-																											
Na	+	-																											
Na	+	-																											
Na	+	-																											

N.B.: Les phosphates dans la partie supérieure du tableau I-3 constituent les orthophosphates
Les phosphates dans la partie inférieure du tableau I-3 constituent les phosphates condensés.

Tableau I-4: Composés du calcium dans les eaux d'approvisionnement ou utilisés pour divers besoins^(1,2)

<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Ca</td> <td style="padding: 5px;">+</td> <td style="padding: 5px;">-</td> <td style="padding: 5px;">HCO₃</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">-</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">HCO₃</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Ca(HCO₃)₂ Bis (hydrogénocarbonate) de sodium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contribue à l'alcalinité • Contribue à la dureté carbonatée • En chauffant l'eau: HCO₃⁻ → CO₃²⁻, qui précipite avec Ca²⁺ ou Mg²⁺ 	Ca	+	-	HCO ₃				-				HCO ₃	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Ca</td> <td style="padding: 5px;">+</td> <td style="padding: 5px;">-</td> <td style="padding: 5px;">CO₃</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">-</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">CO₃</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">CaCO₃ Carbonate de calcium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contribue à l'alcalinité, à la salinité • Contribue à la dureté carbonatée • En chauffant l'eau des cristaux de CaCO₃ se forment Kps du CaCO₃: 5 x 10⁻⁹ 	Ca	+	-	CO ₃				-				CO ₃	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Ca</td> <td style="padding: 5px;">+</td> <td style="padding: 5px;">-</td> <td style="padding: 5px;">Cl</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">-</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">Cl</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">CaCl₂ Chlorure de calcium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contribue à la dureté (non carbonatée), la salinité et à la conductivité • Les ions calcium peuvent précipiter avec des ions carbonates 	Ca	+	-	Cl				-				Cl												
Ca	+	-	HCO ₃																																															
			-																																															
			HCO ₃																																															
Ca	+	-	CO ₃																																															
			-																																															
			CO ₃																																															
Ca	+	-	Cl																																															
			-																																															
			Cl																																															
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Ca</td> <td style="padding: 5px;">+</td> <td style="padding: 5px;">-</td> <td style="padding: 5px;">SO₄</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">-</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">SO₄</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">CaSO₄ Sulfate de calcium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contribue à la dureté (non carbonatée), la salinité et à la conductivité • Les ions calcium peuvent précipiter avec des ions carbonates 	Ca	+	-	SO ₄				-				SO ₄	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Ca</td> <td style="padding: 5px;">+</td> <td style="padding: 5px;">-</td> <td style="padding: 5px;">OH</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">-</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">OH</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Ca (OH)₂ Hydroxyde de calcium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilisé pour effectuer des traitements tels que: <ul style="list-style-type: none"> - adoucir l'eau - ajuster le pH - précipiter des métaux toxiques - chauler des boues 	Ca	+	-	OH				-				OH	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Ca</td> <td style="padding: 5px;">+</td> <td style="padding: 5px;">-</td> <td style="padding: 5px;">PO₄</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">-</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">PO₄</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Ca</td> <td style="padding: 5px;">+</td> <td style="padding: 5px;">-</td> <td style="padding: 5px;">PO₄</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">-</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">PO₄</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Ca₃(PO₄)₂ Bis (phosphate) de calcium (Phosphate tricalcique):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Précipité qui se forme lorsqu'on ajoute des phosphates à l'eau de chaudière pour éliminer les ions calcium 	Ca	+	-	PO ₄				-				PO ₄	Ca	+	-	PO ₄				-				PO ₄
Ca	+	-	SO ₄																																															
			-																																															
			SO ₄																																															
Ca	+	-	OH																																															
			-																																															
			OH																																															
Ca	+	-	PO ₄																																															
			-																																															
			PO ₄																																															
Ca	+	-	PO ₄																																															
			-																																															
			PO ₄																																															

Tableau I-5: Composés du magnésium présents dans les eaux d'approvisionnement ou susceptibles de se former au cours d'un traitement^(1,2)

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center; vertical-align: middle;">Mg</td> <td style="width: 5%; text-align: center;">+</td> <td style="width: 45%; text-align: center; vertical-align: middle;">HCO₃⁻</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">+</td> <td style="border-top: 1px solid black;"></td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">HCO₃⁻</td> </tr> </table> </div> <p style="text-align: center;">Mg(HCO₃)₂ Bis (hydrogénocarbonate) de magnésium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contribue à l'alcalinité • Contribue à la dureté carbonatée • En chauffant l'eau: HCO₃⁻ → CO₃²⁻, qui précipite modérément avec Ca²⁺ ou Mg²⁺ 	Mg	+	HCO ₃ ⁻	+		HCO ₃ ⁻	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center; vertical-align: middle;">Mg</td> <td style="width: 5%; text-align: center;">+</td> <td style="width: 45%; text-align: center; vertical-align: middle;">CO₃⁻</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">+</td> <td style="border-top: 1px solid black;"></td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">CO₃⁻</td> </tr> </table> </div> <p style="text-align: center;">MgCO₃ Carbonate de magnésium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contribue à l'alcalinité, à la salinité et à la conductivité • Contribue à la dureté carbonatée • En chauffant l'eau des cristaux de MgCO₃ se forment Kps du MgCO₃: 3 x 10⁻⁵ 	Mg	+	CO ₃ ⁻	+		CO ₃ ⁻	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center; vertical-align: middle;">Mg</td> <td style="width: 5%; text-align: center;">+</td> <td style="width: 45%; text-align: center; vertical-align: middle;">Cl⁻</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">+</td> <td style="border-top: 1px solid black;"></td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">Cl⁻</td> </tr> </table> </div> <p style="text-align: center;">MgCl₂ Chlorure de magnésium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contribue à la dureté (non carbonatée), la salinité et à la conductivité • Les ions magnésium peuvent précipiter avec des ions carbonates 	Mg	+	Cl ⁻	+		Cl ⁻
Mg	+	HCO ₃ ⁻																		
+		HCO ₃ ⁻																		
Mg	+	CO ₃ ⁻																		
+		CO ₃ ⁻																		
Mg	+	Cl ⁻																		
+		Cl ⁻																		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center; vertical-align: middle;">Mg</td> <td style="width: 5%; text-align: center;">+</td> <td style="width: 45%; text-align: center; vertical-align: middle;">SO₄⁻</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">+</td> <td style="border-top: 1px solid black;"></td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">SO₄⁻</td> </tr> </table> </div> <p style="text-align: center;">MgSO₄ Sulfate de magnésium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contribue à la dureté (non carbonatée), la salinité et à la conductivité • Les ions magnésium peuvent précipiter avec des ions carbonates 	Mg	+	SO ₄ ⁻	+		SO ₄ ⁻	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center; vertical-align: middle;">Mg</td> <td style="width: 5%; text-align: center;">+</td> <td style="width: 45%; text-align: center; vertical-align: middle;">OH⁻</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">+</td> <td style="border-top: 1px solid black;"></td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">OH⁻</td> </tr> </table> </div> <p style="text-align: center;">Mg(OH)₂ Hydroxyde de magnésium:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se forme lorsqu'une base (Ca (OH)₂, NaOH, etc.) est ajoutée à l'eau contenant du magnésium Mg⁺² + 2 OH⁻ → Mg(OH)₂ Kps de MgCO₃: 1 x 10⁻¹⁷ 	Mg	+	OH ⁻	+		OH ⁻							
Mg	+	SO ₄ ⁻																		
+		SO ₄ ⁻																		
Mg	+	OH ⁻																		
+		OH ⁻																		

Tableau I-6: Rôle des acides⁽¹⁾

FORMULE ET NOM DE L'ACIDE	PROPRIÉTÉS ET UTILISATIONS										
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">H</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">+</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Cl</td> </tr> </table> </div> <p style="text-align: center;">HCl</p>	H	+	-	Cl	<p>Acide chlorhydrique $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corrosif, émet des vapeurs dangereuses • Peut être utilisé pour ajuster le pH 						
H	+	-	Cl								
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">H</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">+</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">NO₃</td> </tr> </table> </div> <p style="text-align: center;">HNO₃</p>	H	+	-	NO ₃	<p>Acide nitrique $\text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corrosif • Peut être utilisé pour passiver l'acier inoxydable • Est utilisé, mélangé à l'acide phosphorique, pour effectuer le lavage acide (industries agro-alimentaires) 						
H	+	-	NO ₃								
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">H</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">+</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-</td> <td rowspan="2" style="border: 1px solid black; padding: 2px;">SO₄</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">H</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">+</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-</td> </tr> </table> </div> <p style="text-align: center;">H₂SO₄</p>	H	+	-	SO ₄	H	+	-	<p>Acide sulfurique $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HSO}_4^-$ $\text{HSO}_4^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corrosif • Peut être utilisé pour coaguler certaines eaux usées • Peut être utilisé pour ajuster le pH 			
H	+	-	SO ₄								
H	+	-									
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">H</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">+</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-</td> <td rowspan="3" style="border: 1px solid black; padding: 2px;">PO₄</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">H</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">+</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">H</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">+</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-</td> </tr> </table> </div> <p style="text-align: center;">H₃PO₄</p>	H	+	-	PO ₄	H	+	-	H	+	-	<p>Acide phosphorique $\text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{H}^+ + \text{H}_2\text{PO}_4^-$ $\text{H}_2\text{PO}_4^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$ $\text{HPO}_4^{2-} \rightarrow \text{H}^+ + \text{PO}_4^{3-}$</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corrosif • Est utilisé, mélangé ou non à l'acide nitrique, pour effectuer le lavage acide (industries agro-alimentaires) • Peut être utilisé comme source de phosphore dans les traitements biologiques
H	+	-	PO ₄								
H	+	-									
H	+	-									
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">H</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">+</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-</td> <td rowspan="2" style="border: 1px solid black; padding: 2px;">CO₃</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">H</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">+</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-</td> </tr> </table> </div> <p style="text-align: center;">H₂CO₃</p>	H	+	-	CO ₃	H	+	-	<p>Acide carbonique $(\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3)$ $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peut être utilisé pour ajuster le pH • Se décompose pour former du dioxyde de carbone lorsque l'eau est chauffée 			
H	+	-	CO ₃								
H	+	-									

Tableau I-6: Rôle des acides⁽¹⁾ (suite)

FORMULE ET NOM DE L'ACIDE		PROPRIÉTÉS ET UTILISATIONS							
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">H</td> <td style="padding: 2px 10px;">+</td> <td style="padding: 2px 10px;">-</td> <td rowspan="2" style="padding: 2px 10px; vertical-align: middle;">SO₃</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">H</td> <td style="padding: 2px 10px;">+</td> <td style="padding: 2px 10px;">-</td> </tr> </table> </div> <p style="text-align: center;">H₂SO₃</p>	H	+	-	SO ₃	H	+	-	<p>Acide sulfureux $H_2SO_3 \rightarrow H^+ + HSO_3^-$ $HSO_3^- \rightarrow H^+ + SO_3^{2-}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sert à former des sulfites utilisés entre autres pour éliminer l'oxygène dans l'eau des chaudières
H	+	-	SO ₃						
H	+	-							
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">H</td> <td style="padding: 2px 10px;">+</td> <td style="padding: 2px 10px;">-</td> <td rowspan="2" style="padding: 2px 10px; vertical-align: middle;">S</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">H</td> <td style="padding: 2px 10px;">+</td> <td style="padding: 2px 10px;">-</td> </tr> </table> </div> <p style="text-align: center;">H₂S</p>	H	+	-	S	H	+	-	<p>Acide sulfhydrique $H_2S \rightarrow H^+ + HS^-$ $HS^- \rightarrow H^+ + S^{2-}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> • L'acidification des eaux usées contenant des sulfures (S²⁻) favorise l'apparition du sulfure d'hydrogène (H₂S) gazeux
H	+	-	S						
H	+	-							
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">H</td> <td style="padding: 2px 10px;">+</td> <td style="padding: 2px 10px;">-</td> <td rowspan="2" style="padding: 2px 10px; vertical-align: middle;">OCl</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;"></td> <td style="padding: 2px 10px;"></td> <td style="padding: 2px 10px;"></td> </tr> </table> </div> <p style="text-align: center;">HOCl</p>	H	+	-	OCl				<p>Acide hypochloreux $HOCl \rightarrow H^+ + OCl^-$</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cet acide constitue un agent désinfectant, il se forme lorsque le chlore est mélangé à l'eau
H	+	-	OCl						
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">H</td> <td style="padding: 2px 10px;">+</td> <td style="padding: 2px 10px;">-</td> <td rowspan="2" style="padding: 2px 10px; vertical-align: middle;">CN</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;"></td> <td style="padding: 2px 10px;"></td> <td style="padding: 2px 10px;"></td> </tr> </table> </div> <p style="text-align: center;">HCN</p>	H	+	-	CN				<p>Acide cyanhydrique $HCN \rightarrow H^+ + CN^-$</p>	<ul style="list-style-type: none"> • L'acidification des eaux usées contenant des cyanures (CN⁻) favorise l'apparition du cyanure d'hydrogène (HCN) gazeux
H	+	-	CN						

**Tableau I-7: Produits fréquemment utilisés
pour effectuer la coagulation^(1,2,4)**

NOMS	FORMULES	INFORMATIONS TECHNIQUES
SULFATE D'ALUMINIUM OCTADÉCA-HYDRATÉ	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	Utilisé en solution contenant environ 640 g/l d' $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. Il acidifie modérément les eaux traitées
SULFATE DE FER (II) HEPTA-HYDRATÉ	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Utilisé en solution contenant environ 400 g/l de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. Il acidifie modérément les eaux traitées
SULFATE DE FER (III) NONAHYDRATÉ	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	Utilisé en solution qui acidifie plus les eaux traitées que ne le fait le sulfate de fer (II). La solution est corrosive
CHLORURE DE FER (III) HEXAHYDRATÉ	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Utilisé en solution contenant environ 900 g/l de $FeCl_3 \cdot 6H_2O$; la solution est très corrosive et acidifie fortement les eaux traitées

NB: L'injection du produit coagulant est généralement suivie de celle d'une substance basique ($NaOH$, $Ca(OH)_2$, etc.) et d'un polymère selon les caractéristiques des eaux à traiter.



BIBLIOGRAPHIE

- 1) RICE D.B & collaborateurs, "*Chemistry basics*", Power, 27-36, Vol. 137, n° 6, June 1993.
- 2) FAVRE, H., "*La nomenclature de la chimie inorganique*", Ordre des chimistes du Québec, 1994.
- 3) AUDISIO S. et MAZILLE H., "*La corrosion et l'eau dans l'industrie*", Technique de l'eau et assainissement, p. 9-17, et 33-43, 1977.
- 4) DEGRÉMONT-INFILCO, "*Mémento technique de l'eau*", Tomes 1 et 2, 9^e édition, Degrémont, 1989.



ANNEXE II

CONVERSION DES UNITÉS



INTRODUCTION

Les chargés de projets sont familiers avec le système international d'unités (SI), cependant nous avons cru bon de joindre à ce guide quelques tableaux puisqu'il est fréquent de rencontrer des industriels qui utilisent exclusivement les unités du système impérial et/ou les unités de volume du système américain. De plus, plusieurs documents techniques imprimés aux États-Unis comportent des unités du système impérial et des débits en gallons américains.

Les chiffres et les unités en caractères gras dans les six premiers tableaux de ce chapitre correspondent aux unités les plus fréquemment utilisées. Nous rappelons que les seules unités de base du SI mentionnées dans les pages qui suivent sont: le mètre, unité de longueur, le kilogramme, unité de masse et la seconde unité de temps⁽¹⁾.

Ce sont les équivalences entre les débits exprimés avec les unités du SI, du système impérial et du système américain qui se révèlent les plus complexes. Le tableau II-7 a été préparé en se référant à des débits quotidiens. Le tableau II-8 a été établi en considérant un procédé ou un équipement dont on connaît le débit instantané. Le tableau II-9 constitue une autre façon de présenter la plupart des informations présentées dans les deux tableaux précédents.

Finalement, le tableau II-11 intitulé "aide-mémoire" contient des renseignements qui permettent de faire le lien entre quelques unités que les chargés de projet manipulent de temps à autre.

Tableau II-1: Les unités de longueur, surface, volume et masse du SI

MESURES	UNITÉS							REMARQUES
	kilomètre km	hectomètre hm	décamètre dam	mètre m	décimètre dm	centimètre cm	millimètre mm	
Longueur								Une unité équivaut à 10 fois la suivante. ex.: 1 m = 10 dm
Surface	km ²	hm ² ou ha* (hectare)	dam ² ou a* (are)	m ²	dm ²	cm ²	mm ²	Une unité équivaut à 100 fois la suivante. ex.: 1 m ² = 100 dm ²
Volume	km ³	hm ³	dam ³	m ³ **	dm ³ **	cm ³ **	mm ³	Une unité équivaut à 1 000 fois la suivante. ex.: 1 m ³ = 1 000 dm ³
Capacité				kl	l (litre)	ml	µl	Tel qu'écrit, une unité équivaut à 1 000 fois la suivante. ex.: 1 l = 1 000 ml
Masse				t (tonne)	kg	g (gramme)	mg	Tel qu'écrit, une unité équivaut à 1 000 fois la suivante. ex.: 1 kg = 1 000 g

N.B.: * ces unités constituent des mesures de surfaces agraires
ex.: 1 hectare = 10 000 m² = 100 m x 100 m

** Pour l'eau (densité = 1), dans les conditions ordinaires, on peut considérer que:

- 1 m³ = 1 000 l (1 kl) et pèse 1 tonne (1 000 kg);
- 1 dm³ = 1 l et pèse 1 kg;
- 1 cm³ = 1 ml et pèse 1 g.



Tableau II-2: Les préfixes du système international

FACTEURS	PRÉFIXES	SYMBOLES	EXEMPLES
10^{18}	exa	E	
10^{15}	peta	P	
10^{12}	téra	T	
10^9	giga	G	les très hautes fréquences: > à 15 GHz.
10^6	méga	M	une explosion équivalente à 1 Mt de TNT.
10^3	kilo	k	une charge organique de 3 500 kg DBO_5/d^* .
10^2	hecto	h	une production laitière de 15 hl/d.
10^1	déca	da	une vache produit 5 dal de lait/d.
10^0	-	-	-
10^{-1}	déci	d	10^{-1} m c'est-à-dire 1 dm.
10^{-2}	centi	c	10^{-2} m c'est-à-dire 1 cm.
10^{-3}	milli	m	10^{-3} g/l c'est-à-dire 1 mg/l.
10^{-6}	micro	μ	10^{-6} l c'est-à-dire 1 μ l.
10^{-9}	nano	n	10^{-9} m c'est-à-dire 1 nm = 10 Angström.
10^{-12}	pico	p	10^{-12} Curie/l c'est-à-dire 1 pCi/l.
10^{-15}	femto	f	
10^{-18}	atto	a	

Note: * "d" est l'abréviation internationale pour désigner le mot jour et est emprunté au mot latin "dies" signifiant jour.

**Tableau II-3: Équivalences entre les unités de longueur
du SI et du système impérial**

DIMENSIONS SI	DIMENSIONS IMPÉRIALES
1,6093 km	1 mille
1 km	5/8 mille
1 m	39 pouces et 3/8 pouce
0,9144 m	1 verge
0,3048 m (305 mm)	1 pied
0,10 m (100 mm)	3 pouces et 15/16 pouce
25,4 mm (2,54 cm)	1 pouce
10 mm (1 cm)	0,3937 pouce ≈ 2/5 pouce
1 mm	0,03937 pouce ≈ 1/25 pouce

**Tableau II-4: Équivalences entre les unités de surface
du SI et du système impérial**

SUPERFICIES SI	SUPERFICIES IMPÉRIALES
2,59 km ²	1 mille carré
1 km ²	0,386 mille carré
1 hm ² ou 1 ha ou 100 ares	0,00386 mille carré ou 2,471 acres ou 1,0764 x 10 ⁵ pieds carrés
1 m ² ou 10 000 cm ²	10,76 pieds carrés ou 1 500 pouces carrés
0,8361 m ²	1 verge carrée
0,093 m ² ou 930 cm ²	1 pied carré
645,2 mm ² ou 6,452 cm ²	1 pouce carré
1 mm ²	1,55 x 10 ⁻³ pouce carré

**Tableau II-5: Équivalences entre les unités de volume (et capacité)
du SI, du système impérial et du système américain⁽²⁾**

VOLUMES (SI)	VOLUMES IMPÉRIAUX	VOLUMES AMÉRICAINS
1 km ³	0,244 mille cube	0,244 mille cube
1 m ³ ou 1 000 l ou 1 x 10 ⁶ ml	1,3079 verge cube ou 35,3144 pieds cubes ou 220,1 gallons ou 880,4 pintes ou 6,1023 x 10 ⁴ pouces cubes	1,3079 verge cube ou 35,3144 pieds cubes ou 264,17 gallons (GUS) ou 1056,7 pintes (US)
0,7645 m ³ ou 764,5 l ou 7,645 x 10 ⁵ ml	1 verge cube ou 27 pieds cubes ou 168,17 gallons, ou 672,7 pintes ou 46 656 pouces cubes	1 verge cube ou 27 pieds cubes ou 202 gallons (GUS) ou 807,9 pintes (US) ou 46 656 pouces cubes
0,2046 m ³ ou 204,6 l	45 gallons	54,04 gallons (GUS)
0,170 m ³ ou 170,3 l	37,47 gallons	45 gallons (GUS)
0,02831 m ³ ou 28,31 l ou 2,831 x 10 ⁴ ml	1 pied cube ou 6,229 gallons ou 1728 pouces cubes	1 pied cube ou 7,48 gallons (GUS) ou 1728 pouces cubes
4,5459 l	1 gallon ou 4 pintes ou 277,3 pouces cubes	1,2009 gallons (GUS)
3,7854 l	0,8327 gallon	1 gallon (GUS) ou 231 pouces cubes
1,1365 l	1 pinte	1,2009 pinte (liquide US)
0,9463 l	0,8327 pinte	1 pinte (liquide US)
0,0164 l ou 16,4 ml	1 pouce cube	1 pouce cube
0,001 l ou 1 ml	6,102 x 10 ⁻³ pouce cube	6,102 x 10 ⁻³ pouce cube

**Tableau II-6: Équivalences entre les unités de masse
du SI et du système impérial**

MASSES (SI)		MASSES IMPÉRIALES
1 tonne ou	$\left\{ \begin{array}{l} 10^3 \text{ kg} \\ 10^6 \text{ g} \\ 10^9 \text{ mg} \end{array} \right.$	2204,5 livres
1 kg ou	$\left\{ \begin{array}{l} 10^{-3} \text{ t} \\ 10^3 \text{ g} \\ 10^6 \text{ mg} \end{array} \right.$	2,2045 livres
0,45359 kg ou	453,59 g	1 livre ou 16 onces
	28,35 g	1 once
1 g ou	$\left\{ \begin{array}{l} 10^{-3} \text{ kg} \\ 10^3 \text{ mg} \end{array} \right.$	$3,5274 \times 10^{-2}$ once $2,2046 \times 10^{-3}$ livre
1 mg ou	$\left\{ \begin{array}{l} 10^{-6} \text{ kg} \\ 10^{-3} \text{ g} \end{array} \right.$	$3,5274 \times 10^{-5}$ once $2,2046 \times 10^{-6}$ livre



Tableau II-7: Équivalences entre les débits quotidiens du SI, du système impérial et du système américain

DÉBITS SI	DÉBITS IMPÉRIAUX (GI: Gallons impériaux)	DÉBITS AMÉRICAINS (GUS.: gallons US)
$10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ ou 10^9 l/d	$2,20 \times 10^8 \text{ GI/d}$	$2,64 \times 10^8 \text{ GUS/d}$
$10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ou 10^7 l/d	$2,20 \times 10^6 \text{ GI/d}$	$2,64 \times 10^6 \text{ GUS/d}$
$4,54 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$ ou $4,54 \times 10^6 \text{ l/d}$	$1,00 \times 10^6 \text{ GI/d}$	$1,20 \times 10^6 \text{ GUS/d}$
$3,785 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$ ou $3,785 \times 10^6 \text{ l/d}$	$8,33 \times 10^5 \text{ GI/d}$	$1,00 \times 10^6 \text{ GUS/d}$
$10^3 \text{ m}^3/\text{d}$ ou 10^6 l/d	$2,20 \times 10^5 \text{ GI/d}$	$2,64 \times 10^5 \text{ GUS/d}$
$4,54 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{d}$ ou $4,54 \times 10^5 \text{ l/d}$	$1,00 \times 10^5 \text{ GI/d}$	$1,20 \times 10^5 \text{ GUS/d}$
$45,4 \text{ m}^3/\text{d}$ ou $45\,400 \text{ l/d}$	$1,00 \times 10^4 \text{ GI/d}$	$1,20 \times 10^4 \text{ GUS/d}$
$4,54 \text{ m}^3/\text{d}$ ou 4540 l/d	$1,00 \times 10^3 \text{ GI/d}$	$1,20 \times 10^3 \text{ GUS/d}$
$3,785 \text{ m}^3/\text{d}$ ou 3785 l/d	$8,33 \times 10^2 \text{ GI/d}$	$1,00 \times 10^3 \text{ GUS/d}$



**Tableau II-8: Équivalences entre les débits instantanés du SI,
du système impérial et du système américain**

DÉBITS SI	DÉBITS IMPÉRIAUX (GI: Gallons impériaux)	DÉBITS AMÉRICAINS (GUS: gallons US)
3160 l/min ou $\left\{ \begin{array}{l} 4,54 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d} \\ 1,89 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{h} \\ 5,27 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s} \end{array} \right.$	695 GI/min ou $\left\{ \begin{array}{l} 1,00 \times 10^6 \text{ GI/d} \\ 4,17 \times 10^4 \text{ GI/h} \\ 11,57 \text{ GI/s} \end{array} \right.$	835 gal./min ou $\left\{ \begin{array}{l} 1,20 \times 10^6 \text{ GUS/d} \\ 5,00 \times 10^4 \text{ GUS/h} \\ 13,89 \text{ GUS/s} \end{array} \right.$
1000 l/min ou $\left\{ \begin{array}{l} 1,44 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d} \\ 6 \times 10^4 \text{ l/h} \\ 16,7 \text{ l/s} \end{array} \right.$	220 GI/min ou $\left\{ \begin{array}{l} 3,17 \times 10^5 \text{ GI/d} \\ 1,32 \times 10^4 \text{ GI/h} \\ 3,67 \text{ GI/s} \end{array} \right.$	264 gal./min ou $\left\{ \begin{array}{l} 3,80 \times 10^5 \text{ GUS/d} \\ 1,59 \times 10^4 \text{ GUS/h} \\ 4,40 \text{ GUS/s} \end{array} \right.$
455 l/min ou $\left\{ \begin{array}{l} 6,55 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{d} \\ 2,73 \times 10^4 \text{ l/h} \\ 7,58 \text{ l/s} \end{array} \right.$	100 GI/min ou $\left\{ \begin{array}{l} 1,44 \times 10^5 \text{ GI/d} \\ 6 \times 10^3 \text{ GI/h} \\ 1,67 \text{ GI/s} \end{array} \right.$	120 gal./min ou $\left\{ \begin{array}{l} 1,73 \times 10^5 \text{ GUS/d} \\ 7,20 \times 10^3 \text{ GUS/h} \\ 2 \text{ GUS/s} \end{array} \right.$
227 l/min ou $\left\{ \begin{array}{l} 3,27 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{d} \\ 1,36 \times 10^4 \text{ l/h} \\ 3,78 \text{ l/s} \end{array} \right.$	50 GI/min ou $\left\{ \begin{array}{l} 7,20 \times 10^4 \text{ GI/d} \\ 3 \times 10^3 \text{ GI/h} \\ 0,833 \text{ GI/s} \end{array} \right.$	60 gal./min ou $\left\{ \begin{array}{l} 8,64 \times 10^5 \text{ GUS/d} \\ 3,60 \times 10^3 \text{ GUS/h} \\ 1 \text{ GUS/s} \end{array} \right.$
100 l/min ou $\left\{ \begin{array}{l} 1,44 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{d} \\ 6 \times 10^3 \text{ l/h} \\ 1,67 \text{ l/s} \end{array} \right.$	22 GI/min ou $\left\{ \begin{array}{l} 3,17 \times 10^4 \text{ GI/d} \\ 1,32 \times 10^3 \text{ GI/h} \\ 0,367 \text{ GI/s} \end{array} \right.$	26,4 gal./min ou $\left\{ \begin{array}{l} 3,80 \times 10^4 \text{ GUS/d} \\ 1,585 \times 10^3 \text{ GUS/h} \\ 0,440 \text{ GUS/s} \end{array} \right.$
10 l/min ou $\left\{ \begin{array}{l} 14,4 \text{ m}^3/\text{d} \\ 6 \times 10^2 \text{ l/h} \\ 0,167 \text{ l/s} \end{array} \right.$	2,2 GI/min ou $\left\{ \begin{array}{l} 3,17 \times 10^3 \text{ GI/d} \\ 1,32 \times 10^2 \text{ GI/h} \\ 3,67 \times 10^{-2} \text{ GI/s} \end{array} \right.$	2,64 gal./min ou $\left\{ \begin{array}{l} 3,80 \times 10^3 \text{ GUS/d} \\ 1,59 \times 10^2 \text{ GUS/h} \\ 4,40 \times 10^{-2} \text{ GUS/s} \end{array} \right.$
1 l/min ou $\left\{ \begin{array}{l} 1,44 \text{ m}^3/\text{d} \\ 60 \text{ l/h} \\ 1,67 \times 10^{-2} \text{ l/s} \end{array} \right.$	0,22 GI/min ou $\left\{ \begin{array}{l} 3,17 \times 10^2 \text{ GI/d} \\ 13,2 \text{ GI/h} \\ 3,67 \times 10^{-3} \text{ GI/s} \end{array} \right.$	0,264 gal./min ou $\left\{ \begin{array}{l} 3,80 \times 10^2 \text{ GUS/d} \\ 15,85 \text{ GUS/h} \\ 4,40 \times 10^{-3} \text{ GUS/s} \end{array} \right.$
1 l/s ou $\left\{ \begin{array}{l} 86,4 \text{ m}^3/\text{d} \\ 3,60 \times 10^3 \text{ l/h} \\ 60 \text{ l/min} \end{array} \right.$	0,22 GI/s ou $\left\{ \begin{array}{l} 1,90 \times 10^4 \text{ GI/d} \\ 792 \text{ GI/h} \\ 13,2 \text{ GI/min} \end{array} \right.$	0,284 gal./s ou $\left\{ \begin{array}{l} 2,28 \times 10^4 \text{ GUS/d} \\ 950 \text{ GUS/h} \\ 15,84 \text{ GUS/min} \end{array} \right.$

Notes:

1. Conversion des l/s en m³/d et en GI/d:

$$x_0 \text{ l/s} \times 86,4 = y_0 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{puis } y_0 \text{ m}^3/\text{d} \times 220 = z_0 \text{ GI/d}$$

$$\text{ou } x_0 \text{ l/s} \times 1,9 \times 10^4 = z_0 \text{ GI/d}$$

2. Conversion des l/min en m³/d et en GI/d

$$x_1 \text{ l/min} \times 1,44 = y_1 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{puis } y_1 \text{ m}^3/\text{d} \times 220 = z_1 \text{ GI/d}$$

$$\text{ou } x_1 \text{ l/min} \times 3,17 \times 10^2 = z_1 \text{ GI/d}$$



Tableau II-9: Comparaison entre les débits exprimés dans des systèmes d'unités différents

Une unité de l'expression indiquée ci-dessous correspond à	m ³ /h	m ³ /s	l/s	1000 m ³ /d	pi ³ /s	GUS ⁽¹⁾ /min	MGUS ⁽²⁾ /d	GI ⁽³⁾ /min	MGI ⁽⁴⁾ /d
m ³ /h	1	2,78 x 10 ⁻³	2,78 x 10 ⁻¹	2,4 x 10 ⁻²	9,81 x 10 ⁻³	4,40	6,34 x 10 ⁻³	3,67	5,28 x 10 ⁻³
m ³ /s	3600	1	10 ³	86,4	35,31	1,59 x 10 ⁴	22,82	1,32 x 10 ⁴	19,0
l/s	3,6	1 x 10 ⁻³	1	8,64 x 10 ⁻²	3,53 x 10 ⁻²	15,85	2,28 x 10 ⁻²	13,2	1,9 x 10 ⁻²
1000 m ³ /d	41,67	1,16 x 10 ⁻²	11,58	1	4,09 x 10 ⁻¹	1,83 x 10 ²	2,64 x 10 ⁻¹	1,53 x 10 ²	2,20 x 10 ⁻¹
pi ³ /s	102	2,83 x 10 ⁻²	28,3	2,45	1	449	6,47 x 10 ⁻¹	374	5,38 x 10 ⁻¹
GUS/min	2,27 x 10 ⁻¹	6,31 x 10 ⁻⁶	6,31 x 10 ⁻²	5,45 x 10 ⁻²	2,22 x 10 ⁻³	1	1,44 x 10 ⁻³	0,833	1,20 x 10 ⁻³
MGUS/d	1,58 x 10 ²	4,38 x 10 ⁻²	43,80	3,785	1,55	695	1	5,78 x 10 ²	8,32 x 10 ⁻¹
GI/min	2,73 x 10 ⁻¹	7,58 x 10 ⁻⁶	7,58 x 10 ⁻²	6,54 x 10 ⁻²	2,76 x 10 ⁻³	1,20	1,73 x 10 ⁻³	1	1,44 x 10 ⁻³
MGI/d	1,89 x 10 ²	5,26 x 10 ⁻²	52,61	4,545	1,86	8,34 x 10 ²	1,20	695	1

Notes:

- (1) GUS = gallon américain
 (2) MGUS = million de gallons américains
 (3) GI = gallon impérial
 (4) MGI = million de gallons impériaux



Tableau II-10: Équivalences des ouvertures de tamis⁽³⁾

MESH (USA) Tamis n°	DIMENSIONS DES OUVERTURES		
	pouce	mm	µm
10	$2,87 \times 10^{-2}$	2,0	2000
18	$0,39 \times 10^{-2}$	1,0	1000
20	$3,31 \times 10^{-2}$	0,841	841
25	$2,78 \times 10^{-2}$	0,706	706
30	$2,34 \times 10^{-2}$	0,594	594
35	$1,98 \times 10^{-2}$	0,500	500
40	$1,65 \times 10^{-2}$	0,419	419
45	$1,39 \times 10^{-2}$	0,353	353
50	$1,17 \times 10^{-2}$	0,297	297
60	$9,80 \times 10^{-3}$	0,249	249
70	$8,30 \times 10^{-3}$	0,211	211
80	$7,00 \times 10^{-3}$	0,178	178
100	$5,90 \times 10^{-3}$	0,150	150
120	$4,90 \times 10^{-3}$	0,124	124
140	$4,10 \times 10^{-3}$	0,104	104
200	$2,90 \times 10^{-3}$	0,074	74
400	$1,50 \times 10^{-3}$	0,038	38
500	$1,00 \times 10^{-3}$	0,025	25
635	$8,00 \times 10^{-4}$	0,020	20



Tableau II-11: Aide-mémoire

<p>1. 1 mg/l = 1 ppm N.B.: Équivalence pour les eaux potables et les eaux polluées</p> $\therefore 1 \text{ mg/l} = \frac{1 \text{ mg}}{1\,000 \text{ ml}} = \frac{1 \text{ mg}}{1\,000 \text{ g}} = \frac{1 \text{ mg}}{1\,000\,000 \text{ mg}} = \frac{1 \text{ mg}}{10^6 \text{ mg}} = 1 \text{ ppm}$
<p>2. 1 g/m³ = 1 mg/l</p> $\therefore 1 \text{ g/m}^3 = \frac{1\,000 \text{ mg}}{1\,000 \text{ l}} = 1 \text{ mg/l}$
<p>3. 1 kg/m³ x 1 000 = 1 mg/l</p> <p>∴ Soit une charge organique de 1 000 kg DBO₅/d dans une charge hydraulique de 3 000 m³/d (0,333 kg/m³)</p> $\frac{1\,000 \text{ kg DBO}_5/\text{d}}{3\,000 \text{ m}^3/\text{d}} = \frac{1\,000 \text{ kg DBO}_5 \times 10^6 \text{ mg/kg}}{3\,000 \text{ m}^3 \times 1\,000 \text{ l/m}^3} =$ $\frac{1 \times 10^3 \times 10^6 \text{ mg DBO}_5}{3 \times 10^6 \text{ l}} = \frac{1}{3} \times 1\,000 \text{ mg DBO}_5/\text{l} = 333 \text{ mg DBO}_5/\text{l}$
<p>4. Pression</p> <ul style="list-style-type: none"> · L'unité officielle du SI = Pascal (Pa) · 1 Pa = 9,87 x 10⁻⁶ atm = 1,02 x 10⁻⁴ mètre d'eau = 4,016 x 10⁻³ pouce d'eau · Plus communément: · 1 atm = 760 mm de Hg = 101 325 Pa = 10,33 mètres d'eau = 29,92 pouces de Hg = 406,7 pouces d'eau = 14,7 lbs/po²

